



UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA ADQUISICIÓN, ANÁLISIS Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN CARGAS RESIDENCIALES Y COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA DEL FACTOR DE POTENCIA”

Tesis Previa a la Obtención del
Título De Ingeniero Eléctrico

AUTORES:

FRANCISCO JAVIER ALONSO AGUILAR
AURELIO ANTONIO PESÁNTEZ PALACIOS

DIRECTOR:

ING. REMIGIO CLEMENTE GUEVARA BACULIMA

CUENCA – ECUADOR

2015



RESUMEN

Se ha diseñado e implementado un prototipo basado en controladores digitales de señales dsPIC, con la finalidad de registrar en función del tiempo la información de parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; de una carga tipo residencial.

El almacenamiento de la información eléctrica se realiza utilizando una memoria tipo flash micro SD de 2GB de capacidad que permite un registro continuo por un lapso de tiempo máximo de 6 meses. El formato de almacenamiento de los datos en la memoria micro SD es de tipo texto (archivos .txt), con el objetivo de poder realizar análisis de los mismos en cualquier programa computacional que acepte este formato. Para facilitar el tratamiento de la información, un archivo adicional es generado cada nuevo día (paso por las 00H00) durante el proceso de almacenamiento de los datos.

Además, se ha diseñado e implementado un circuito de control para el comando de un banco de condensadores basado en mediciones a tiempo real del factor de potencia, con el propósito de mantener dicho factor en un nivel óptimo.

Finalmente, se han diseñado dos placas de circuito impreso o PCB: la placa del circuito principal que es la encargada de adquirir y almacenar la información de los parámetros eléctricos, y la placa para el comando y control del banco de condensadores que es la encargada de activar o desactivar cada uno de los capacitores.

Palabras Claves: dsPIC, Parámetros Eléctricos, MicroSD, Factor de Potencia, Banco de Condensadores.

ABSTRACT

A prototype based on dsPIC digital signal controllers has been designed and implemented in order to log, in function of time, the electrical data: RMS voltage, RMS current, power factor, and total harmonic distortion of voltage and current, of a residential electrical load.

The electrical data are saved in a flash type microSD memory card with 2GB of capacity that allows a continuous log of the electrical parameters for a maximum period of six months. The data saving format on the microSD memory card is a text type format (files .txt) in order to allow a data analysis in any computer program that supports this format. To handle the data in an easier way, an additional data file is generated every new day (past 00H00) in the data log process.

A control circuit for a capacitor bank has also been designed and implemented based on the real time measurements of the power factor in order to maintain this power factor in an optimum level.

Finally, two printed circuit boards have been designed namely: the main board circuit which is the responsible of acquiring and saving the electrical data, and the drive circuit board for the capacitor bank which is the responsible of connecting or disconnecting every capacitor.

Keywords: dsPIC, Electrical parameters, MicroSD, Power Factor, Capacitor Bank.



ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	02
ABSTRACT	03
INTRODUCCIÓN	24
 CAPÍTULO 1	 26
1. ASPECTOS GENERALES Y OBJETIVOS	26
1.1. Antecedentes.....	26
1.2. Justificación.....	27
1.3. Objetivos.....	28
1.3.1. Objetivo General.....	28
1.3.2. Objetivos Específicos.....	29
 CAPÍTULO 2	 30
2. MARCO TEÓRICO	30
2.1. Sistemas Eléctricos de Distribución de Baja Tensión.....	30
2.2. Demanda Eléctrica.....	30
2.3. Proyección y Metodologías de Demanda Eléctrica.....	32
2.3.1. Método de Extrapolación.....	33
2.3.2. Método de Correlación.....	34
2.4. Calidad y Uso Eficiente de la Energía Eléctrica.....	35
2.5. Parámetros Eléctricos Importantes.....	36
2.6. Métodos para la Compensación del Factor de Potencia.....	38
 CAPÍTULO 3	 40
3. DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA	40
3.1. Sistema de Adquisición de Datos Eléctricos.....	40
3.1.1. dsPIC30F4013.....	40
3.1.1.1. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro.....	42
3.1.1.2. dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo.....	43



3.1.2. Sensores de Corriente ACS714.....	44
3.1.3. Sensores de Tensión.....	47
3.1.4. Reloj a Tiempo Real DS1307.....	51
3.2. Comunicación entre Microcontroladores.....	53
3.2.1. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo.....	53
3.2.2. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y PIC16F887.....	54
3.3. Sistema de Almacenamiento de Información.....	55
3.3.1. Memorias Flash micro SD.....	55
3.4. Elementos para Visualización y Monitoreo.....	58
3.4.1. Display LCD 16x2 HD44780.....	58
3.4.2. Módulo Bluetooth HC-06.....	60
3.5. Sistema de Alimentación.....	61
3.6. Sistema de Actuación del Banco de Condensadores.....	63
3.6.1. Banco de Condensadores.....	63
3.6.2. Microcontrolador PIC16F887.....	64
3.6.3. TRIAC BTA16 y OPTO-TRIAC MOC3041.....	65
3.7. Diseño del PCB.....	68
3.7.1. Pautas para el Diseño de un Circuito Impreso.....	68
3.7.2. Software EAGLE.....	69
3.7.3. Diseños Esquemáticos.....	69
3.7.4. Diseños de PCB Layout.....	69
CAPÍTULO 4.....	71
4. DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA.....	71
4.1. Entornos de Desarrollo para DSCs y Microcontroladores PIC.....	71
4.1.1. IDE MikroC PRO for dsPIC.....	72
4.1.2. IDE MikroC PRO for PIC.....	72
4.1.3. Librerías Integradas en MikroC PRO.....	72
4.2. Formulación para Cálculo de los Parámetros Eléctricos.....	73
4.2.1. Fórmulas para el Cálculo de la Tensión RMS, Corriente RMS, Potencia Activa y Factor de Potencia.....	73
4.2.1.1. Fórmula para el Cálculo de la Tensión RMS.....	74



4.2.1.2.	Fórmula para el Cálculo de la Corriente RMS.....	75
4.2.1.3.	Fórmula para el Cálculo de la Potencia Activa.....	76
4.2.1.4.	Fórmula para el Cálculo del Factor de Potencia.....	77
4.2.2.	Fórmula para el Cálculo de la Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente.....	77
4.3.	Algoritmos y Programación.....	78
4.3.1.	Algoritmo para la Adquisición de las señales de Tensión y Corriente.....	78
4.3.2.	Algoritmo para el Cálculo de la Tensión RMS, Corriente RMS, Potencia Activa y Factor de Potencia.....	82
4.3.3.	Algoritmo para el Cálculo de la Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente.....	85
4.3.4.	Algoritmos de Comunicación entre Microcontroladores.....	87
4.3.4.1.	dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo.....	87
4.3.4.2.	dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y PIC16F887.....	90
4.3.5.	Algoritmo para la Creación de Archivos de Datos y Formato de Presentación.....	91
4.3.6.	Algoritmo para el Comando del Banco de Condensadores.....	95
4.3.7.	Subrutinas Varias y Librerías Adicionales Desarrolladas.....	98
4.4.	Monitoreo de Parámetros Eléctricos Utilizando un Dispositivo con Sistema Operativo Android.....	100
4.4.1.	Plataforma de Desarrollo App Inventor.....	101
4.4.2.	Aplicación para Comunicación con Dispositivo Bluetooth HC-06.....	102
CAPÍTULO 5.....		109
5. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....		109
5.1.	Pruebas de Funcionamiento General del Sistema.....	109
5.1.1.	Prueba de Sensores.....	109
5.1.1.1.	Sensores de Tensión.....	110
5.1.1.2.	Sensores de Corriente.....	118
5.1.2.	Pruebas de Actuación del Banco de Condensadores.....	122



5.2.	Pruebas de Monitoreo Mediante Dispositivo con Sistema Operativo Android.....	124
5.3.	Pruebas en un Sistema Eléctrico Residencial.....	126
CONCLUSIONES.....		128
RECOMENDACIONES.....		130
REFERENCIAS.....		131
ANEXOS.....		133

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Diagrama de pines del microcontrolador dsPIC30F4013.....	41
Figura 2. Bloque funcional del sensor de corriente ACS714.....	45
Figura 3. Esquema de conexión del sensor de corriente ACS714.....	46
Figura 4. Esquema de conexión del sensor de tensión.....	47
Figura 5. Esquema de conexión del reloj a tiempo real DS1307.....	52
Figura 6. Esquema de conexión entre microcontroladores dsPIC30F4013.....	54
Figura 7. Esquema de conexión entre microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivo maestro y PIC16F887.....	55
Figura 8. Distribución física de pines de una memoria micro SD.....	56
Figura 9. Esquema de conexión de la memoria micro SD.....	57
Figura 10. Distribución física de pines de un display LCD 16x2 HD44780.....	59
Figura 11. Esquema de conexión del display LCD 16x2 HD44780.....	59
Figura 12. Esquema de conexión del módulo bluetooth HC-06.....	61
Figura 13. Esquema de conexión de la fuente de alimentación.....	62
Figura 14. Diagrama de pines del microcontrolador PIC16F887.....	64
Figura 15. Esquema de conexión del TRIAC y OPTO-TRIAC para el comando de un condensador.....	67
Figura 16. Configuración del módulo ADC-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	79
Figura 17. Adquisición de las señales de tensiones y corrientes- Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	81
Figura 18. Definición de la frecuencia de muestreo por el TIMER1- Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	81
Figura 19. Cálculo de la tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia de la fase 1-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	85

Figura 20. Cálculo de la distorsión armónica total para cada onda de tensión y corriente-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	87
Figura 21. Secuencia de Comunicación-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	90
Figura 22. Secuencia de Comunicación-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.....	90
Figura 23. Lectura de la memoria micro SD-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.....	93
Figura 24. Creación del archivo de datos en la memoria micro SD-Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.....	93
Figura 25. Archivo .txt con datos obtenidos en una prueba.....	94
Figura 26. Localización de los puntos: máximo, centro y mínimo de la onda tanto de tensión como de corriente de la fase 1.....	97
Figura 27. Activación de desactivación de cada uno de los condensadores que conforman el banco.....	98
Figura 28. Pantalla para monitoreo de los parámetros eléctricos en dispositivo con Sistema Operativo Android.....	102
Figura 29. Bloques de configuraciones iniciales de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	103
Figura 30. Bloques del menú de conexión bluetooth de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	104
Figura 31. Bloques de conexión exitosa del módulo bluetooth en la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	105
Figura 32. Bloques del botón de visualización de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	105
Figura 33. Bloques de escritura de parámetros eléctricos en la pantalla de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	106
Figura 34. Bloques de los botones de desconexión y salir de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	107
Figura 35. Bloques de configuración de mensajes de error en la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.....	107

Figura 36. Visualización de los Parámetros eléctricos en dispositivo con Sistema Operativo Android.....	108
Figura 37. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 1-Valor del pico de la señal.....	110
Figura 38. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 1-Valor del centro de la señal.....	111
Figura 39. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 1-Valor del pico de la señal.....	111
Figura 40. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 2-Valor del pico de la señal.....	113
Figura 41. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 2-Valor del centro de la señal.....	113
Figura 42. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 2-Valor del pico de la señal.....	114
Figura 43. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 3-Valor del pico de la señal.....	115
Figura 44. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 3-Valor del centro de la señal.....	116
Figura 45. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 3-Valor del pico de la señal.....	116
Figura 46. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 1-Valor del centro de la señal.....	118
Figura 47. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 1-Valor del pico de la señal.....	119
Figura 48. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 2-Valor del centro de la señal.....	120
Figura 49. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 2-Valor del pico de la señal.....	120
Figura 50. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 3-Valor del centro de la señal.....	121
Figura 51. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 3-Valor del pico de la señal.....	122

Figura 52. Gráfica comparativa del factor de potencia en una carga lineal.....	123
Figura 53. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android- Fase 1.....	124
Figura 54. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android- Fase 2.....	125
Figura 55. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android- Fase 3.....	125
Figura 56. Grafica comparativa de Potencia Activa en una carga residencial.....	127
Figura 57. Grafica comparativa del Factor de Potencia en una carga residencial.....	127
Figura 58. Circuito del partidor de tensión - Análisis en AC.....	134
Figura 59. Circuito del partidor de tensión - Análisis en DC.....	135
Figura 60. Diagrama esquemático del circuito principal.....	138
Figura 61. Diagrama esquemático del circuito del banco de condensadores.....	139
Figura 62. Diagrama PCB Layout del circuito principal.....	140
Figura 63. Diagrama PCB Layout del circuito del banco de condensadores.....	141
Figura 64. Conexión de los sensores de la fase 1 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.....	143
Figura 65. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1 y fase 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.....	145
Figura 66. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.....	145
Figura 67. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1, fase 2 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.....	147
Figura 68. Conexión de los sensores de la fase 1 y fase 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.....	148

Figura 69. Conexión de los sensores de la fase 1 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.....	148
Figura 70. Conexión de los sensores de la fase 1, paralelo fases 2 y 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.....	153
Figura 71. Conexión de los sensores de la fase 2, paralelo fases 1 y 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.....	154
Figura 72. Conexión de los sensores de la fase 3, paralelo fases 1 y 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.....	154
Figura 73. Conexión de los sensores de la fase 1, fase 2 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial trifásico.....	155
Figura 74. Localización en el prototipo de los jumpers selectores de operación para cada fase.....	157
Figura 75. Modo de activación o desactivación de los sensores para cada fase.....	157
Figura 76. Mensaje en display LCD al iniciar el prototipo el guardado de datos en memoria micro SD.....	159
Figura 77. Dato de hora en display LCD antes y después de presionar el pulsante 1	160
Figura 78. Mensaje en display LCD al finalizar el prototipo el guardado de datos en memoria micro SD.....	161
Figura 79. Dato de día en display LCD antes y después de presionar el pulsante 2.....	161
Figura 80. Mensaje en display LCD al iniciar en el prototipo el ajuste de la hora y fecha.....	162
Figura 81. Dato en display LCD antes y después de presionar el pulsante 3.....	163
Figura 82. Ubicación de los pulsantes de operación en el prototipo.....	163
Figura 83. Ubicación de los leds indicadores de operación en el prototipo.....	165
Figura 84. Mensaje en display LCD al no encontrarse ingresada en el prototipo la memoria micro SD.....	165
Figura 85. Mensaje en display LCD al encontrarse ingresada en el prototipo la memoria micro SD.....	166



Figura 86. Ubicación de la memoria micro SD en el prototipo.....	166
Figura 87. Conexión del circuito del banco de condensadores al circuito principal.....	167
Figura 88. Placa del Circuito Principal.....	168
Figura 89. Placa del Circuito del Banco de Condensadores.....	169



ÍNDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo.....	31
Tabla 2. Conexión entre señales eléctricas y entradas analógicas del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.....	43
Tabla 3. Clasificación de los sensores ACS714 por capacidad de corriente.....	45
Tabla 4. Resistencias calculadas para el divisor de tensión.....	49
Tabla 5. Asignación de pines a memoria micro SD según el modo de comunicación.....	56



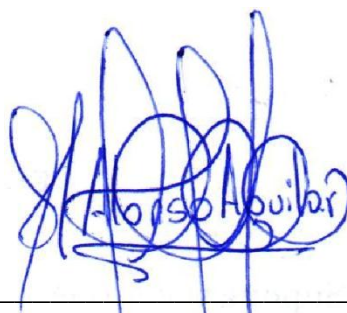
ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Formulación para el Cálculo de las Resistencias del Partidor de Tensión.....	134
Anexo 2. Diagrama Esquemático del Circuito Principal.....	138
Anexo 3. Diagrama Esquemático del Circuito del Banco de Condensadores.....	139
Anexo 4. Diagrama PCB Layout del Circuito Principal.....	140
Anexo 5. Diagrama PCB Layout del Circuito del Banco de Condensadores.....	141
Anexo 6. Manual de Uso del Prototipo.....	142
Anexo 7. Placa del Circuito Principal.....	168
Anexo 8. Placa del Circuito del Banco de Condensadores.....	169

Universidad de Cuenca
Cláusula de Derechos de Autor

Francisco Javier Alonso Aguilar, autor de la tesis “Diseño e Implementación de un Sistema para la Adquisición, Análisis y Almacenamiento de Información Eléctrica en Cargas Residenciales y Compensación Automática del Factor de Potencia”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 01 de Abril del 2015



Francisco Javier Alonso Aguilar

C.I: 070634309-2



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Francisco Javier Alonso Aguilar, autor de la tesis “Diseño e Implementación de un Sistema para la Adquisición, Análisis y Almacenamiento de Información Eléctrica en Cargas Residenciales y Compensación Automática del Factor de Potencia”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de Abril del 2015.

Francisco Javier Alonso Aguilar

C.I: 070634309-2



Universidad de Cuenca
Cláusula de Derechos de Autor

Aurelio Antonio Pesántez Palacios, autor de la tesis “Diseño e Implementación de un Sistema para la Adquisición, Análisis y Almacenamiento de Información Eléctrica en Cargas Residenciales y Compensación Automática del Factor de Potencia”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 01 de Abril del 2015.

Aurelio Antonio Pesántez Palacios

C.I: 030216027-0



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Aurelio Antonio Pesántez Palacios, autor de la tesis “Diseño e Implementación de un Sistema para la Adquisición, Análisis y Almacenamiento de Información Eléctrica en Cargas Residenciales y Compensación Automática del Factor de Potencia”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de Abril del 2015.

Aurelio Antonio Pesántez Palacios

C.I: 030216027-0

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y la sabiduría para ir por el buen camino.

A mi madre, hermanos y una chica muy especial quienes me brindan todos los días su amor, cariño y sobre todo su apoyo incondicional; en especial a mi madre que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar esta importante etapa de mi vida.

Al Ing. Remigio Guevara por su apoyo, consejos, motivación y colaboración para el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Estatal de Cuenca por haberme abierto las puertas y brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para hacer de este sueño una realidad.

Francisco.



AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a mis padres por las lecciones de vida, los buenos consejos y el apoyo incondicional que me han sabido brindar siempre; gracias a ellos podré culminar esta importante etapa de mi vida.

Un sincero agradecimiento al Ing. Remigio Guevara por su total colaboración, buenos consejos, y por compartir su experiencia con nosotros.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, especialmente a la Facultad de Ingeniería por todos los conocimientos y experiencias obtenidos durante mis estudios universitarios; y por haber incentivado en mí la agradable pasión por aprender.

Antonio.



DEDICATORIA

A Dios y mis abuelitos, que desde el cielo guían mi camino. A mí querida madre Alba y mis hermanos Daniela y Abrahán, las personas que más amo en esta vida y que gracias a su apoyo incondicional he podido cumplir con mis sueños y metas. A mi negrita Verónica, por ser la persona con la que he compartido los mejores momentos de mi vida y por apoyarme siempre en las buenas y en las malas.

Con todo mi amor y cariño les dedico este gran esfuerzo. Los amo.

Francisco.



DEDICATORIA

A las personas más importantes de mi vida; mis padres Jaime y Fanny, y mi hermano Gabriel.

Antonio.

INTRODUCCIÓN

Disponer de información que muestre el comportamiento variable de la demanda de energía eléctrica de cualquier sector de consumo (residencial, comercial, industrial, etc.) es de gran utilidad para llevar a cabo actividades como: planificación, diseño, expansión, repotenciación, estimación o proyección de demanda, etc.; de sistemas eléctricos de cualquier índole. Concretamente, el sistema eléctrico residencial (siendo el mayor consumidor de energía eléctrica a nivel nacional) es el que estará sujeto periódicamente a actividades como las antes mencionadas, por lo tanto, es de suma importancia contar con un buen registro de la información de la demanda eléctrica.

Este proyecto de tesis se enfoca precisamente en el desarrollo de un prototipo para el registro de información en una memoria de datos micro SD de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; de una carga residencial, de manera que se pueda exportar dicha información a cualquier computador para su posterior utilización.

Adicionalmente, dentro de este proyecto se diseña e implementa un circuito para el control automático de un banco de condensadores basado en las mediciones a tiempo real del factor de potencia, con el objetivo de mejorar dicho factor y que el consumo de potencia por parte de un sistema eléctrico residencial sea lo más eficiente posible.

Este documento abarca el diseño tanto en hardware como en software del prototipo antes mencionado y está dividido en 5 capítulos. Los capítulos 1 y 2 presentan los aspectos generales y objetivos del proyecto, así como una breve descripción teórica de los temas relacionados con el mismo. El capítulo 3 se enfoca en el diseño del hardware del sistema, especificando el dimensionamiento, selección y descripción de cada uno de los distintos elementos y dispositivos utilizados para este fin. El capítulo 4 abarca el diseño



del software del sistema y trata con temas tales como entornos de programación, desarrollo de algoritmos, descripción de librerías y subrutinas, etc. El capítulo 5 describe todas las pruebas de funcionamiento realizadas tanto a la placa del prototipo principal como a la placa del circuito de control del banco de condensadores y presenta los resultados obtenidos a partir de dichas pruebas.

Finalmente, como un anexo se incluye un manual de usuario del prototipo lo suficientemente detallado para que pueda ser utilizado por cualquier persona que posea conocimientos básicos en electricidad.

CAPÍTULO 1

1. ASPECTOS GENERALES Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes

La toma de información de parámetros eléctricos tales como tensión, corriente, potencia y factor de potencia de un sistema eléctrico de distribución es de gran importancia para el monitoreo y control de los equipos y elementos que forman parte del mismo. Tal es así que existen metodologías y equipos dentro de las subestaciones y cabinas de transformación cuyo objetivo principal es registrar los distintos niveles de carga eléctrica a los cuales está sometido el equipo o sistema en cuestión. Esta toma de información muestra a nivel macro el comportamiento de la carga eléctrica a través de los equipos principales del sistema de distribución.

Poca información se dispone sobre el comportamiento de la carga eléctrica a nivel de abonado o de carga principal y aunque existen en el mercado equipos para obtener esta información, estos están enfocados principalmente para su utilización en las industrias. Además, estos equipos tienen un costo relativamente elevado, por lo que su empleo para el registro de cargas eléctricas residenciales sería poco viable desde el punto de vista económico.

Generalmente, se opta por estimar los consumos de energía eléctrica residenciales empleando modelos cuya precisión se pone en cuestión, presentándose la necesidad de comprobarlos por medio de mediciones a tiempo real.

Otro aspecto a ser tomado en consideración es la eficiencia con la que se consume la energía eléctrica, pues esta influye directamente en el dimensionamiento de los equipos necesarios para distribuirla y en la vida útil de los mismos.

Adicionalmente, con el modelo de tarifas eléctricas actuales, los abonados residenciales pagan únicamente por la potencia activa consumida durante un periodo de tiempo determinado, y en consecuencia, el pago por los consumos de energía reactiva corre a cargo de las empresas distribuidoras. Es aquí donde tener un buen factor de potencia en el sistema eléctrico de distribución juega un papel muy importante no sólo en la reducción de costos energéticos sino también en la prolongación de la vida útil y uso eficiente de los equipos de distribución.

1.2. Justificación

Teniendo presente la necesidad de conocer con buen detalle el comportamiento de la carga eléctrica a nivel de abonado y la posibilidad de corregir el factor de potencia a este mismo nivel, se propone el desarrollo de este proyecto de tesis cuya finalidad es diseñar e implementar un prototipo para el registro de información de cargas eléctricas residenciales y corrección automática del factor de potencia empleando un banco de condensadores.

El desarrollo de este prototipo tendrá un bajo costo comparado con sistemas similares existentes en el mercado, y permitirá:

- Conocer y registrar a nivel de abonado o de carga principal el comportamiento del consumo energético y la eficiencia del mismo.
- Desarrollar curvas de carga eléctrica y comprobar la validez de los modelos existentes para la estimación de las demandas eléctricas residenciales.
- Tener la posibilidad de corregir el factor de potencia a tiempo real para mantenerlo en un nivel óptimo durante todo el periodo de consumo de energía eléctrica que pueda darse en una residencia.

- Conocer la calidad de la energía eléctrica reflejada a través de la distorsión armónica total de las ondas de tensión y corriente.
- Monitorear valores instantáneos de parámetros eléctricos tales como tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente por medio de un dispositivo con sistema Android, como por ejemplo un Smartphone o una Tablet.

La implementación del prototipo antes mencionado facilitará la realización de:

- Investigaciones de campo y desarrollo de modelos del comportamiento de las cargas eléctricas en los sistemas de distribución.
- Estudios del impacto de la vida útil de los equipos empleados en los sistemas eléctricos de distribución, que serían de utilidad para las empresas eléctricas.
- Sistemas inteligentes para el control de consumos y aplanamiento de cargas eléctricas, con la finalidad de evitar altos picos en las curvas de demanda de energía.

El presente proyecto se justifica por las necesidades, utilidades y beneficios planteados anteriormente; tanto para empresas como para instituciones académicas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo electrónico basado en controladores digitales de señales para la adquisición, almacenamiento y monitoreo de información de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; y control a tiempo

real de un banco de condensadores, con la finalidad de mantener el factor de potencia en un nivel óptimo durante todo el periodo de carga. Todo esto enfocado a una carga eléctrica residencial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Emplear los controladores digitales de señales dsPIC30F4013 de la empresa Microchip y los elementos electrónicos necesarios, para el diseño del sistema de discretización de las ondas de tensión y corriente.
- Implementar algoritmos en el dsPIC30F4013 para el cálculo de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, potencia activa, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; una vez que se ha discretizado las ondas de tensión y corriente.
- Implementar un algoritmo para el almacenamiento periódico de los parámetros eléctricos previamente calculados, en una memoria micro SD con capacidad de almacenamiento suficiente para varias semanas, considerando que el almacenamiento del conjunto de datos se realizará cada segundo.
- Monitorear el funcionamiento del prototipo por medio de un dispositivo con Sistema Operativo Android que puede ser un Smartphone o Tablet, en el cual se mostrarán y actualizarán periódicamente los parámetros eléctricos almacenados en la memoria micro SD. El dispositivo con Sistema Android y el prototipo en cuestión se comunicarán por medio de una conexión bluetooth. Se desarrollará la aplicación respectiva para el dispositivo Android.
- Implementar un circuito de potencia para la conexión y desconexión de un banco de condensadores por etapas basado en la información a tiempo real del factor de potencia, con la finalidad de mantener el mismo en un nivel óptimo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas Eléctricos de Distribución de Baja Tensión

Los sistemas eléctricos de distribución de baja tensión forman parte del sistema eléctrico de potencia (SEP) y su objetivo principal es transmitir la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución hacia los centros de carga o consumidores finales.

El sistema eléctrico de distribución de baja tensión consta de múltiples elementos que son necesarios para cumplir con su objetivo, tales como: líneas de distribución, transformadores para adecuar los niveles de tensión según las necesidades, sistemas de protección, estructuras soportantes, equipos de conexión y desconexión, etc.

Monitorear el sistema eléctrico de distribución de baja tensión es de gran importancia, pues influye directamente en las acciones a llevar a cabo durante la operación, mantenimiento y reparaciones del mismo, así como en las modificaciones o mejoras que deban y puedan realizarse a fin de reducir factores perjudiciales como el número de interrupciones de servicio eléctrico, tiempo de duración de la interrupción, número de abonados afectados, etc. Todo esto con el fin de tener un servicio eléctrico de calidad.

2.2. Demanda Eléctrica

La cantidad de energía eléctrica que un consumidor utiliza en un determinado momento se denomina demanda eléctrica del mismo, dicha demanda varía continuamente con el tiempo [1].

La demanda en los sistemas eléctricos de distribución tiene un comportamiento oscilante debido a las actividades humanas que se realizan los días laborables, fines de semana, días festivos, etc.; y varían mes a mes y año tras año.

El punto donde la demanda eléctrica alcanza su valor máximo se denomina demanda máxima de energía eléctrica, mientras el punto donde la demanda alcanza su valor mínimo se denomina demanda mínima de energía eléctrica. Es evidente que el valor de la demanda máxima determinará el tamaño y tipo de equipos necesarios para suplirla [1].

La demanda máxima de energía eléctrica generalmente se mantiene durante un corto periodo de tiempo que puede durar varios minutos. Esto se cumple especialmente en cargas eléctricas del tipo residencial y tiene que ver con factores tales como hora del día, hábitos de consumo, condiciones climáticas, estratos sociales, etc.

En el Ecuador, el mayor consumo de energía eléctrica se da en el sector residencial, seguido de los sectores industrial y comercial. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla extraída de la página web del CONELEC [2], que muestra la demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo en GWh, donde también se observa que esta tendencia de consumo se mantiene año tras año con su lógico crecimiento.

Tabla 1. Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo.

Año	Medidas						Variación (%)
	Facturación (Gwh)						
	GrupoConsumo						
	↕ Todos	Alumbrado Público	Comercial	Industrial	Otros	Residencial	↕ Todos
— Todos	192.821,77	12.326,45	38.182,88	56.296,09	18.363,56	67.652,80	
1999	7.730,69	593,21	1.263,99	2.072,56	840,63	2.960,30	
2000	7.904,29	620,24	1.362,01	2.218,43	900,29	2.803,32	2,25 %
2001	8.010,25	634,09	1.432,41	2.139,39	888,61	2.915,74	1,34 %
2002	8.612,43	663,68	1.496,52	2.460,19	893,74	3.098,30	7,52 %
2003	9.151,32	675,04	1.805,04	2.589,59	812,00	3.269,65	6,26 %
2004	9.994,29	696,54	2.051,34	2.792,61	938,17	3.515,64	9,21 %
2005	10.810,73	715,82	2.377,57	3.052,41	962,70	3.702,24	8,17 %
2006	11.636,80	741,24	2.598,15	3.332,52	1.068,81	3.896,09	7,64 %
2007	12.189,25	765,46	2.633,77	3.478,32	1.216,52	4.095,19	4,75 %
2008	12.653,44	806,40	2.519,61	3.418,36	1.524,20	4.384,86	3,81 %
2009	13.217,92	819,57	2.532,71	4.147,86	1.045,50	4.672,28	4,46 %
2010	14.076,61	812,03	2.672,33	4.416,76	1.061,30	5.114,18	6,50 %
2011	15.248,80	882,97	2.955,82	4.797,85	1.261,22	5.350,95	8,33 %
2012	16.174,89	913,08	3.209,49	5.012,48	1.411,18	5.628,67	6,07 %
2013	17.072,49	963,73	3.486,02	5.013,34	1.728,01	5.881,39	5,55 %
2014	18.337,56	1.023,34	3.786,10	5.353,43	1.810,68	6.364,00	7,41 %

Por lo tanto, es claro que el sector residencial influye de manera importante sobre el sistema eléctrico de potencia (SEP) y debe ser considerado como prioritario en proyectos de mejoramiento de la calidad y eficiencia energética.

2.3. Proyección y Metodologías de Demanda Eléctrica

La estimación o proyección de la demanda eléctrica juega un papel muy importante en todos los aspectos relacionados con la planificación, operación y control del sistema eléctrico de potencia (SEP) de una forma confiable y económicamente viable.

La proyección de la demanda eléctrica clasificándola acorde al horizonte de tiempo que se considere puede ser de corto, mediano y largo plazo. La proyección de la demanda a corto plazo, considerando corto plazo a un rango temporal entre una hora y una semana, tiene importancia en actividades como despacho económico, selección de unidades, programación de intercambios de energía eléctrica, control a tiempo real del sistema eléctrico, etc. La proyección de la demanda a mediano plazo se considera desde un mes hasta 5 años o más y es importante para las empresas generadoras y distribuidoras en acciones relacionadas con la compra y gestión de combustibles o de la fuente primaria para la generación de energía, cálculo de tarifas eléctricas, etc. Por último, la proyección de la demanda a largo plazo se considera de 5 a 20 años e influye directamente en la planificación de futuras centrales eléctricas, líneas de transmisión y la consecuente expansión del sistema eléctrico de potencia (SEP) [3].

La estimación de la demanda eléctrica requiere de un buen nivel de precisión para evitar problemas que se presentarían tanto si se subestima como si se sobreestima. Una subestimación de la demanda haría que la calidad de servicio eléctrico no sea adecuada y con ello puedan presentarse apagones; por otro lado, una sobreestimación de la misma causaría un gasto innecesario de recursos, pues las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica tendrían que pagar por los costos de operación y mantenimiento de

equipos que no van a operar a sus capacidades nominales sino después de varios años [3].

La mayoría de los métodos de proyección de la demanda eléctrica a corto plazo utilizan técnicas estadísticas o algoritmos de inteligencia artificial tales como regresiones, redes neuronales, lógica difusa, sistemas expertos, etc. [3].

Varios factores deben ser considerados en la proyección de la demanda eléctrica a corto plazo tales como factores temporales, datos climáticos, estratos sociales y hábitos de utilización de la energía. Las proyecciones de demanda eléctrica a mediano y largo plazo tienen en cuenta los datos históricos registrados: datos de carga, datos climáticos, número de pobladores en determinadas regiones, crecimiento económico y demográfico, etc. [3].

Las metodologías para la proyección de la demanda eléctrica pueden categorizarse en dos tipos: determinísticas y probabilísticas. Un tercer enfoque sería la combinación de ambas metodologías. Matemáticamente, estas categorías estarían basadas en extrapolaciones, correlaciones o combinaciones de ambas [3].

Los métodos de proyección de la demanda eléctrica requieren que se tenga a disposición datos de carga obtenidos a partir de mediciones de campo.

2.3.1. Método de Extrapolación

Basándose en datos históricos que forman un patrón de demanda eléctrica, puede realizarse un modelo matemático que describa la variación de dicha demanda. Para esto, se emplea el método de extrapolación que consiste en ajustar los datos obtenidos a una función conocida que mejor se adapte a dichos datos. Las funciones más utilizadas son [3]:

$$\text{Línea Recta:} \quad y = ax + b$$

$$\text{Parábola:} \quad y = a + bx + cx^2$$

$$\text{Curva S:} \quad y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

$$\text{Exponencial:} \quad y = ce^{dx}$$

$$\text{Doble Exponencial:} \quad y = \ln^{-1}(a + ce^{dx})$$

La función exponencial tiene una especial aplicación y es cuando los valores de la variable dependiente se obtienen a partir de una escala logarítmica $\ln(y)$ [3].

2.3.2. Método de Correlación

Este método se basa en la utilización de medidas estadísticas que puedan describir el grado de asociación existente entre dos variables aleatorias independientes. Las medidas más utilizadas para este fin son la covarianza y el coeficiente de correlación [4].

Para una variable aleatoria bidimensional, la covarianza denotada por σ_{12} está definida como [4]:

$$\text{Cov}(X_1, X_2) = \sigma_{12} = E[(X_1 - E(X_1))(X_2 - E(X_2))]$$

Y el coeficiente de correlación denotado por ρ es [4]:

$$\rho = \frac{\text{Cov}(X_1, X_2)}{\sqrt{V(X_1)} \cdot \sqrt{V(X_2)}} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

La covarianza se mide en unidades de X_1 veces las unidades de X_2 . El coeficiente de correlación es una cantidad adimensional que mide la asociación lineal entre dos variables aleatorias [4].

Los métodos basados en la técnica de correlación relacionan la información de la carga eléctrica con factores independientes tales como condiciones climáticas (humedad, temperatura, etc.), factores económicos, factores demográficos, etc. [3].

2.4. Calidad y Uso Eficiente de la Energía Eléctrica

La calidad de la energía eléctrica puede definirse como el conjunto de características técnicas que debe tener un sistema eléctrico de distribución con el fin de cumplir con los requerimientos de continuidad del suministro de energía y calidad del producto, este último relativo al comportamiento y características de las ondas de tensión y corriente.

Los indicadores de la calidad de la energía eléctrica más importantes son:

- Número y duración de las interrupciones del servicio eléctrico.
- Variaciones en los niveles de tensión.
- Distorsión armónica total en ondas de tensión y corriente.

Las interrupciones del servicio eléctrico producen principalmente perjuicios económicos, mientras que bajos niveles de tensión o elevados niveles de distorsión armónica total afectan negativamente al funcionamiento y vida útil de ciertos equipos eléctricos y electrónicos utilizados dentro de los sistemas de distribución.

Con respecto a la utilización eficiente de la energía eléctrica desde un punto de vista técnico, el parámetro eléctrico que más relevancia tiene en este aspecto es el factor de potencia, el cual indica el porcentaje de energía que es aprovechada por la carga en cuestión; toma valores entre 0 y 1, siendo 0 el peor de los casos y 1 el mejor.

El factor de potencia se ve afectado negativamente cuando existen cargas que consumen cantidades considerables de potencia reactiva generalmente inductiva. Un buen factor de potencia dentro de una instalación eléctrica tiene beneficios entre los cuales se puede destacar:

- Reducción de las pérdidas de potencia en los conductores.

- Incremento de la disponibilidad de potencia en transformadores y conductores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones eléctricas.
- Reducción en las tarifas eléctricas si la empresa distribuidora toma en cuenta energía reactiva.

2.5. Parámetros Eléctricos Importantes

Existe un conjunto de parámetros que deben monitorearse en un sistema eléctrico si se requiere tener una medida de la calidad de la energía así como de la eficiencia en su utilización, ya sea para aplicar mejoras en el sistema o simplemente para tener una referencia.

Los parámetros eléctricos en cuestión son:

- Tensión RMS.
- Corriente RMS.
- Factor de Potencia.
- Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente.

A partir de estos, se pueden calcular otros parámetros importantes relacionados con la potencia tales como: potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

Las ondas de tensión y corriente siguen un comportamiento muy similar al de una onda senoidal y por lo tanto pueden caracterizarse por medio de su amplitud y de su fase. Desde este punto de vista, el factor de potencia mide la diferencia de fase que existe entre la onda de tensión y la onda de corriente presentes en una carga eléctrica, siendo el mejor caso cuando dichas ondas se encuentran en fase.

Las ondas de tensión y de corriente no son puramente senoidales, pues contienen componentes adicionales cuya frecuencia de oscilación es múltiplo

de la frecuencia fundamental. A estas componentes adicionales presentes en las ondas se las denomina armónicos y pueden ser caracterizadas empleando las series de Fourier.

La causa principal para la existencia de armónicos de estado estable dentro de un sistema eléctrico de distribución es la gran cantidad de equipos electrónicos y de control que existen en la actualidad, utilizados tanto en hogares como en industrias y en equipos de distribución. Los equipos electrónicos y la electrónica de control introducen armónicos a un sistema eléctrico debido a su comportamiento de carga no lineal.

Un contenido alto de armónicos tanto en amplitud como en número dentro de un sistema eléctrico de distribución afecta negativamente a la operación de equipos y dispositivos, en consecuencia, dichos armónicos deben ser limitados generalmente utilizando filtros.

El indicador de distorsión más conocido es la distorsión armónica total representado por sus siglas en inglés como THD (Total Harmonic Distortion) y representa la relación existente entre el contenido armónico de una señal y la señal fundamental.

Matemáticamente, la THD de una señal $x(t)$ es [3]:

$$THD_x = \frac{1}{x_1} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} x_i^2} * 100\%$$

Siendo x_1 la magnitud de la señal fundamental y $x_2, x_3, x_4 \dots$ las magnitudes individuales de los armónicos presentes en dicha señal.

La THD es útil para medir la distorsión en parámetros individuales como la tensión y la corriente.

2.6. Métodos para la Compensación del Factor de Potencia

Existen varios métodos que pueden emplearse para corregir o mejorar el factor de potencia. A continuación se describen los métodos más utilizados [5]:

- *Compensación por medio de un banco de condensadores estático.*- La utilización de un banco de condensadores estático es un método simple y efectivo para compensar el factor de potencia de una forma lineal, pues reduce el desplazamiento de fase entre las ondas de tensión y corriente.

Este método es generalmente aplicado en lugares donde existen máquinas que emplean motores eléctricos de considerable tamaño, pues dichos motores son cargas mayormente inductivas que absorben potencia reactiva, la cual es compensada por los condensadores.

Para una adecuada corrección del factor de potencia por medio de un banco de condensadores, las reactancias capacitivas e inductivas deben ser igualadas, es decir, se requerirá de la conexión o desconexión de cierta cantidad de condensadores que deben elegirse en función de la potencia reactiva absorbida por el sistema eléctrico en cada instante de tiempo.

- *Compensación por medio de un condensador sincrónico.*- Es posible utilizar un motor sincrónico en vacío que mediante el control de su corriente de campo se lo pueda hacer trabajar como una carga eléctrica capacitiva que compense la potencia reactiva necesaria para mantener el factor de potencia en un nivel óptimo.

Aunque este método es efectivo para controlar el factor de potencia en cargas eléctricas lineales, tiene desventajas referentes al costo, mantenimiento, tamaño y vida útil del motor.

- *Circuito de control por switching.* - Por medio de un circuito electrónico se puede controlar los tiempos de carga y descarga de un capacitor de reserva y mantener la corriente en sincronización de fase con la tensión. Este tipo de compensación es ideal para cargas eléctricas no lineales, y está presente en las fuentes de poder de computadoras y otros equipos electrónicos.

La utilización de uno u otro método va a depender del tipo de carga eléctrica a la cual se pretende corregir el factor de potencia, así como de las ventajas o desventajas tanto económicas como técnicas que se presenten.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA

3.1. Sistema de Adquisición de Datos Eléctricos

El sistema de adquisición de datos eléctricos está conformado por un conjunto de tres sensores de tensión y tres sensores de corriente de manera que el prototipo pueda funcionar en un sistema eléctrico residencial monofásico, bifásico o trifásico.

Una vez adecuadas las señales eléctricas por medio de dichos sensores, estas pasan a las entradas analógicas de un dsPIC30F4013 el cual las adquiere y almacena para su posterior procesamiento. Con la finalidad de contar con una base de tiempo definida, se añade un reloj a tiempo real DS1307 al sistema, el cual proporcionará la hora y fecha en el instante de tiempo que se almacenan los datos.

Todos los elementos y dispositivos que conforman el sistema de adquisición de datos eléctricos se detallan a continuación.

3.1.1. dsPIC30F4013

El dsPIC30f4013 es un controlador digital de señales desarrollado por la empresa Microchip Inc. que dispone de potentes capacidades para realizar procesamiento digital de señales.

El diagrama de pines del dsPIC30F4013 extraído de la hoja de dato del mismo es [6]:

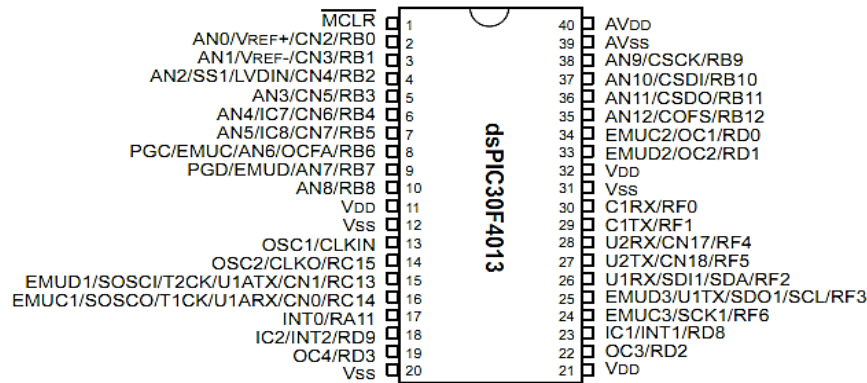


Figura 1. Diagrama de pines del microcontrolador dsPIC30F4013.

A continuación, se presentan las características más relevantes de este controlador digital de señales [6] relacionadas principalmente con las tareas que deberá llevar a cabo dentro del sistema.

-Características Principales de la CPU:

- Arquitectura Harvard modificada.
- Conjunto de instrucciones optimizadas para compilador C.
- Modos flexibles de direccionamiento.
- Instrucciones de 24 bits, datos de 16 bits.
- Memoria de programa de 48kB (16kWords).
- Memoria de datos RAM de 2kB.
- 16 registros de trabajo de 16bits cada uno.
- Velocidad de operación de hasta 30MIPs.
- 33 fuentes de interrupción.

-Características DSP:

- Búsqueda de datos dual.
- Dos acumuladores de 40 bits con opción de saturación lógica.
- Multiplicador por hardware de 17x17 bits formato entero o fraccional.
- Todas las instrucciones DSP se ejecutan en un solo ciclo.

-Características de Periféricos:

- Capacidad de absorción o entrega de corriente de hasta 25mA en cada pin de entrada/salida.
- 5 TIMERS de 16 bits, con opción de combinar 2 en un TIMER de 32 bits.
- 4 Funciones CCP de 16bits.
- Módulo de comunicación SPI.
- Módulo de comunicación I²C.
- 2 Módulos de comunicación UART.

-Características Analógicas:

- Conversor analógico/digital de 12 bits, tasa de conversión de hasta 100Ksps, 13 entradas analógicas.
- Detector de baja tensión programable.
- Brown Out Reset programable.

El dsPIC30F4013 emplea tecnología mejorada de memoria de programa tipo flash lo cual permite grabarlo y borrarlo hasta 10000 veces. Características adicionales de este dispositivo pueden ser encontradas en la hoja de datos del mismo que es proporcionada por el fabricante en su página web.

3.1.1.1. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro

El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro es el encargado de adquirir, almacenar, procesar y calcular los valores de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente de un sistema eléctrico residencial al cual se encuentre conectado el prototipo. Luego, mediante una comunicación con el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo transfiere los datos al mismo para ser almacenados en una memoria micro SD. Toda esta operación la realiza dsPIC30F4013 dispositivo maestro en un periodo de tiempo igual a un segundo, proporcionado por los pulsos que emite el reloj a tiempo real DS1307 en su pin SWQ/OUT.

Para realizar el cálculo de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; las señales de tensión y corriente se conectarán a las primeras 6 entradas analógicas del dsPIC30F4013 dispositivo maestro con encapsulado DIP de 40 pines, configuradas como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2. Conexión entre señales eléctricas y entradas analógicas del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

Señal Analógica	Entrada Analógica
Tensión 1	AN0 – pin 2
Corriente 1	AN1 – pin 3
Tensión 2	AN2 – pin 4
Corriente 2	AN3 – pin 5
Tensión 3	AN4 – pin 6
Corriente 3	AN5 – pin 7

Se colocará un jumper selector en cada uno de los canales analógicos correspondientes a las señales de tensión, de manera que se pueda conectar dicho canal directamente al sensor de tensión o a la referencia GND al no utilizarlo. Esto se hace para evitar que la entrada analógica quede flotante cuando no se la emplea.

Los valores adquiridos por los canales conectados a los sensores de corriente se pondrán a cero directamente por software en caso de que el correspondiente canal de tensión asociado con dicha corriente esté conectado a la referencia GND.

3.1.1.2. dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo

El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo es el encargado de controlar el reloj a tiempo real DS1307 y la memoria micro SD en la cual se almacenara la información que envíe el dsPIC30F4013 dispositivo maestro, generando los archivos de datos respectivos sobre una base de tiempo definida por el reloj.

Adicionalmente, este dsPIC será el encargado de gestionar la interface de visualización y control del prototipo, el cual por medio de pulsantes y un display LCD permitirá realizar actividades como: despliegue y ajuste de hora y fecha del reloj, inicio o finalización de guardado de datos, extracción de memoria micro SD, etc.

Puesto que se requieren manipular bloques de memoria RAM de 512 bytes para manejar la memoria micro SD, el microcontrolador debe tener una buena capacidad de memoria y éste dsPIC cumple con esos requerimientos. Además, empleando este microcontrolador se facilita el trabajo de programación al poder usar un mismo compilador y poder referirse a la misma hoja de datos que la del dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

3.1.2. Sensores de Corriente ACS714

Para obtener las señales de las ondas de corriente se emplean sensores de efecto hall ACS714, los cuales son dispositivos que permiten medir corrientes alternas o continuas.

Estos dispositivos constan de un circuito Hall muy preciso con un conductor de cobre localizado en el interior del chip a través del cual circula la corriente a ser medida. La circulación de corriente por dicho conductor de cobre produce un campo magnético, el cual es transformado a una señal de tensión proporcional por medio del circuito Hall. La resistencia interna del conductor de cobre existente en el interior del sensor es típicamente de $1.2\text{ m}\Omega$, por lo que prácticamente no existen pérdidas de potencia en el proceso de medición de corriente [7].

Los terminales de conexión de la corriente en los sensores de efecto hall (pines 1, 2, 3, 4) están eléctricamente aislados de los terminales de la señal de salida (pines 5, 6, 7, 8). Un bloque funcional del dispositivo se muestra a continuación, el cual fue extraído de su correspondiente hoja de datos [7]:

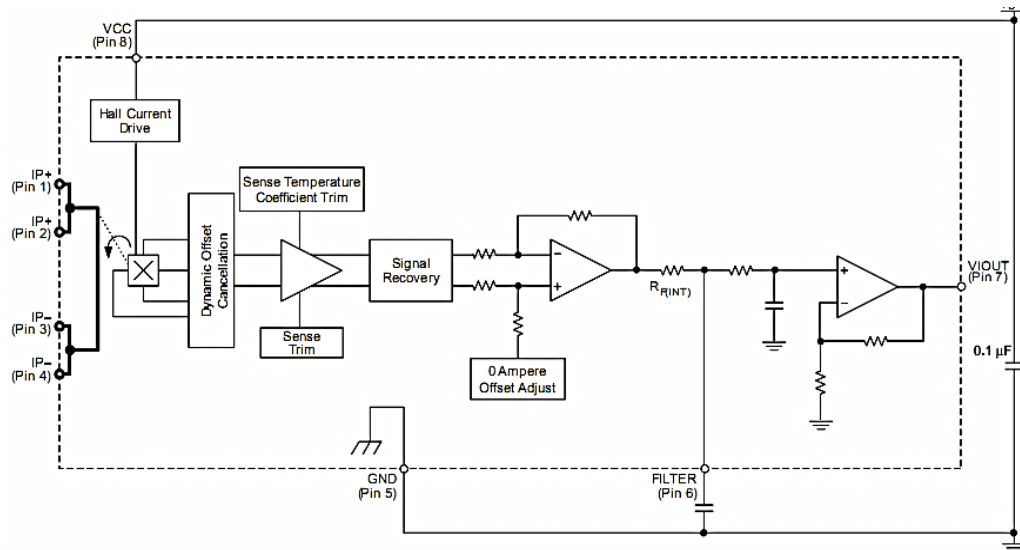


Figura 2. Bloque funcional del sensor de corriente ACS714.

Como se observa, la corriente debe entrar por los pines 1 y 2 que están internamente conectados entre sí, y debe salir por los pines 3 y 4 que de la misma manera están conectados internamente entre sí. El sentido de flujo de la corriente puede ser cualquiera, pero debe respetarse la forma de conexión según los pines. El conductor de cobre que une ambos conjuntos de pines se encuentra muy cerca del circuito de efecto hall de manera que se obtenga la mejor precisión en las mediciones.

Los sensores de corriente de este tipo vienen optimizados para distintas capacidades de corriente y deben elegirse según la aplicación. La tabla a continuación, presente en la hoja de datos del dispositivo muestra las capacidades de corriente disponibles [7]:

Tabla 3. Clasificación de los Sensores ACS714 por capacidad de corriente.

Part Number	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)	T _A (°C)	Packing*
ACS714ELCTR-05B-T	±5	185	−40 to 85	Tape and reel, 3000 pieces/reel
ACS714ELCTR-20A-T	±20	100		
ACS714ELCTR-30A-T	±30	66		
ACS714LLCTR-05B-T	±5	185	−40 to 150	
ACS714LLCTR-20A-T	±20	100		
ACS714LLCTR-30A-T	±30	66		
ACS714LLCTR-50A-T	±50	40		

Para este proyecto se selecciona el dispositivo ACS714ELCTR-30A-T el cual está optimizado para un rango de $\pm 30A$ pico y tiene una sensibilidad de $66mV/A$. Es importante el dato de la sensibilidad pues será utilizado para calcular las magnitudes de corriente en el programa del dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

Los sensores de efecto hall se alimentan con una fuente simple de 5V por lo que es fácilmente adaptable a proyectos con microcontroladores. El esquema de conexión que se empleará en este proyecto se muestra a continuación:

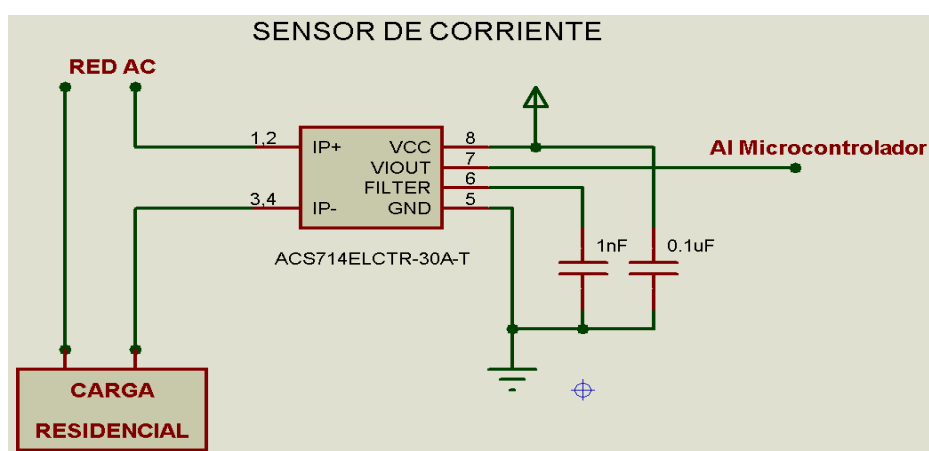


Figura 3. Esquema de conexión del sensor de corriente ACS714.

Fácilmente, puede obtenerse una relación para el cálculo de la magnitud de corriente considerando que el rango de tensiones en los cuales trabaja el módulo ADC del dsPIC para adquirir las señales analógicas es de 0 a 5V (cuando la señal es de 0V el ADC del dsPIC proporciona un valor de 0 y cuando es 5V proporciona un valor de 4095). Por lo tanto:

$$0.066 = \frac{\frac{muestraADC * 5}{4095}}{I}$$

Despejando I:

$$I = \frac{500}{27027} * muestraADC$$

$$I = 0.0185 * muestraADC$$

3.1.3. Sensores de Tensión

Para medir las tensiones de un sistema eléctrico residencial se optó por una opción económica, fácil de implementar y con buenas características de precisión. Esta opción es utilizar divisores de tensión empleando resistencias de altos valores del orden los Mega Ohmios y los Kilo Ohmios, elegidas adecuadamente para reducir la amplitud de la señal a valores manejables por el microcontrolador.

No se puede conectar directamente el microcontrolador al divisor de tensión, pues primero se debe adecuar la señal de salida del mismo en nivel y en impedancia. Para adecuar la señal en nivel, se coloca una resistencia de pull-up a la señal de salida del divisor de manera que la onda se desplace y se ubique dentro del rango entre 0 y +5V. Para acoplar la impedancia de salida de la señal se coloca un amplificador operacional configurado como seguidor de tensión. La señal de salida del amplificador operacional se puede conectar directamente a la entrada analógica del microcontrolador para así medir la tensión alterna del sistema eléctrico.

El diagrama del circuito antes mencionado se muestra a continuación:

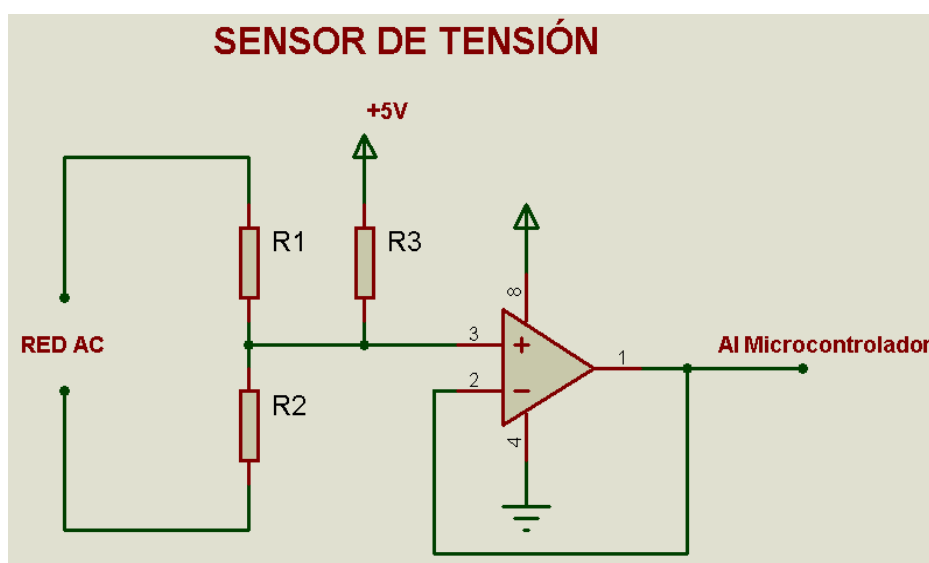


Figura 4. Esquema de conexión del sensor de tensión.

El amplificador operacional seleccionado para este proyecto es un LM358, pues está diseñado para trabajar con una fuente de tensión simple lo cual facilita el diseño del sensor.

El cálculo de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 que conforman el divisor de tensión debe realizarse cuidadosamente, de manera que las tensiones presentes en el microcontrolador no superen los límites permisibles, es decir, debe tenerse plena seguridad de que las tensiones que ingresan a las entradas analógicas del dsPIC se mantengan en el rango de 0 a 5V.

El desarrollo de las fórmulas utilizadas para el cálculo de las resistencias del divisor de tensión se describe en el Anexo 1, el cual proporciona las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = R_1$$

$$R_2 = \frac{2 * V_{R2} * R_1}{V_{red} - 2V_{R2}}$$

$$R_3 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Se observa que para el cálculo de las resistencias es necesario definir:

- La tensión de entrada pico a pico al divisor V_{red} .
- La tensión de salida pico a pico del divisor V_{R2} , que se encuentre dentro de los límites de tensión de funcionamiento del ADC.
- La resistencia de partida R_1 para el cálculo de R_2 y R_3 .

A continuación, se presenta una tabla con algunos valores calculados de resistencias para el divisor de tensión, utilizando las formulas anteriormente mencionadas:

Tabla 4. Resistencias calculadas para el divisor de tensión.

DATOS		
$V_{red_{p-p}}$	179,61	V
$V_{R2_{p-p}}$	2	V

CÁLCULOS				
R1(MΩ)	EXACTOS		APROXIMADOS	
	$R_1(MΩ)$	$R_2(kΩ)$	$R_3(kΩ)$	$R_2(kΩ)$
1	22,78	22,27	22	22
1,2	27,33	26,73	27	27
1,5	34,17	33,41	33	33
1,8	41,00	40,09	39	39
2,2	50,11	49,00	51	51
2,7	61,50	60,13	56	56
3,3	75,17	73,49	68	68
3,9	88,84	86,86	82	82
4,7	107,06	104,67	100	100
5,1	116,17	113,58	120	120
5,6	127,56	124,72	120	120
6,8	154,89	151,44	150	150
8,2	186,78	182,62	180	180
10	227,78	222,71	220	220

Estos valores de resistencia fueron calculados con el objetivo de tener la menor circulación de corriente a través del partidor de tensión y con ello poder utilizar resistencias de menor potencia.

Los valores de resistencias elegidas para este proyecto son:

$$R_1 = 1 MΩ$$

$$R_2 = 22 KΩ$$

$$R_3 = 22 KΩ$$

A partir de los valores de resistencias seleccionados, se calculará la tensión total de salida del divisor que según el teorema de superposición resulta de la

suma de la componente de corriente continua y la componente de corriente alterna, así:

$$V_{salida_{p-p}} = V_{AC_{R2}} * \sin(\omega t) + V_{DC_{R2}}$$

Utilizando las ecuaciones (1), (2), (5) y (6) descritas en Anexo 1, se tiene:

$$R_{23} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

$$R_{23} = \frac{22x10^3\Omega * 22x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{23} = 11 K\Omega$$

$$V_{AC_{R2}} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} * V_{red} \quad (2)$$

$$V_{AC_{R2}} = \frac{11x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 11x10^3\Omega} * V_{red}$$

$$V_{AC_{R2}} = 0.01088 * V_{red}$$

$$R_{12} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$R_{12} = \frac{1x10^6\Omega * 22x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{12} = 21.526 K\Omega$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{R_{12}}{R_3 + R_{12}} * 5V \quad (6)$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{21.526x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 21.526x10^3\Omega} * 5V$$

$$V_{DC_{R2}} = 2.47V$$

Reemplazando los valores calculados anteriormente en la formula $V_{salida_{p-p}}$, se tiene:

$$V_{salida_{p-p}} = 0.01088 * V_{red} * \sin(\omega t) + 2.47 \text{ V}$$

Hay que tener en cuenta que los coeficientes de la ecuación anterior pueden variar de acuerdo a la exactitud de los valores de las resistencias aplicadas en el partidor de tensión. Además, el V_{red} máximo que se puede medir usando este partidor de tensión es de 230 V_{p-p}.

3.1.4. Reloj a Tiempo Real DS1307

Puesto que se requiere almacenar los datos de carga o demanda eléctrica conociendo el tiempo exacto durante el cual se registra la información, es necesario emplear un dispositivo que proporcione la hora, fecha y una base de tiempo para realizar dichos almacenamientos periódicamente. Este dispositivo es un reloj a tiempo real, el más conocido es el DS1307 que será utilizado en este proyecto.

El integrado DS1307 es un reloj a tiempo real con interface de comunicación I²C que dispone de un reloj y un calendario que cumple con muchas de las necesidades normales referentes a la adquisición y registro del tiempo.

Sus características más destacadas son [8]:

- Reloj a tiempo real que cuenta segundos, minutos, horas, día de la semana, mes y año, es válido hasta el año 2100.
- Almacena los datos en formato BCD lo cual facilita el tratamiento de los mismos.
- Tiene 56 bytes de memoria RAM no volátil para almacenamiento de datos.
- Dispone de un pin SQW/OUT que proporciona una onda cuadrada programable.

- Tiene una circuitería interna de respaldo para alimentación en caso de fallo de la alimentación principal, por lo que es capaz de mantener el tiempo y la fecha actualizados aun cuando el sistema se encuentre apagado.
- La tensión nominal de alimentación es de 5V, aunque puede oscilar entre 4.5V y 5.5V.
- Es un dispositivo de bajo consumo, trabajando en modo de respaldo, es decir, únicamente con la batería consume menos de 500nA.
- Requiere de un cristal de cuarzo propio de 32.768kHz para lograr tiempos exactos y no depender del microcontrolador.
- El último día del mes es automáticamente ajustado según corresponda y tiene en cuenta los años bisiestos.
- Puede trabajar en formato de 24 o 12 horas con indicador AM/PM.

Hay que tener en cuenta que la salida SQW/OUT es de colector abierto, por lo que se requiere de una resistencia de pull-up para su correcto funcionamiento.

El esquema de conexión del DS1307 con el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo a utilizarse en este proyecto se coloca a continuación:

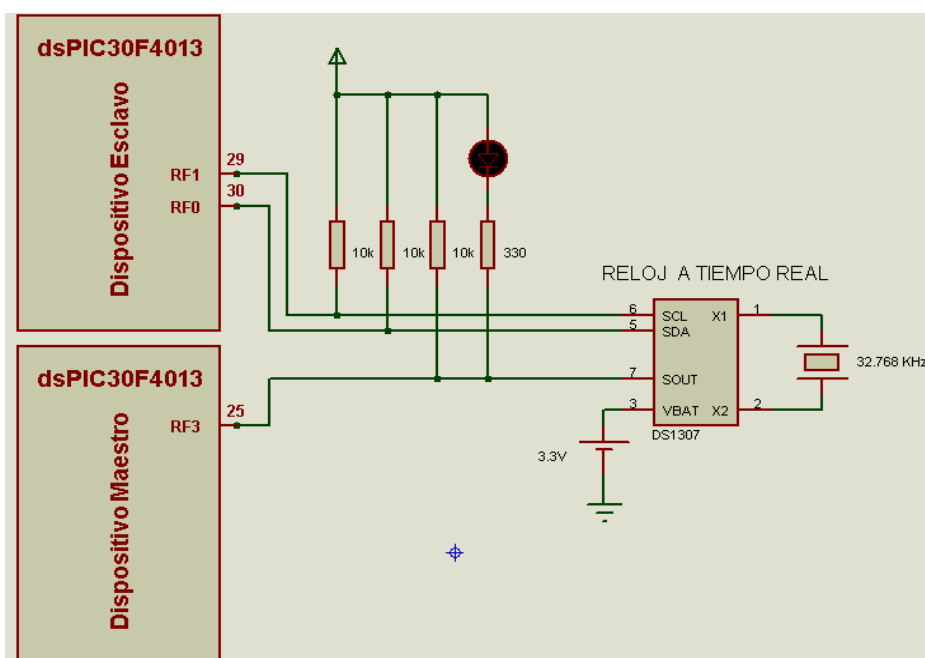


Figura 5. Esquema de conexión del reloj a tiempo real DS1307.

Los datos de hora y fecha se importarán cada segundo al microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo, dicha base de tiempo estará definida por el pin de salida SQW/OUT del DS1307.

3.2. Comunicación entre Microcontroladores

3.2.1. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo

La comunicación entre estos microcontroladores cumple con la función de transferir la información de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; calculados por el dsPIC30F4013 dispositivo maestro hacia el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo para ser almacenados por el mismo en una memoria micro SD.

Para realizar esta comunicación se utilizó 6 líneas, las cuales se describen a continuación:

- *Línea 1:* Utilizada para transferir el dato.
- *Línea 2:* Utilizada para transferir el dato.
- *Línea 3:* Utilizada para transferir el dato.
- *Línea 4:* Utilizada para transferir el dato.
- *Línea 5:* Utilizada para el bit de reconocimiento que envía el dsPIC30F4013 dispositivo maestro al dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.
- *Línea 6:* Utilizada para el bit de reconocimiento que envía el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo al dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

El esquema de conexión del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro con el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo a utilizarse en este proyecto se coloca a continuación:

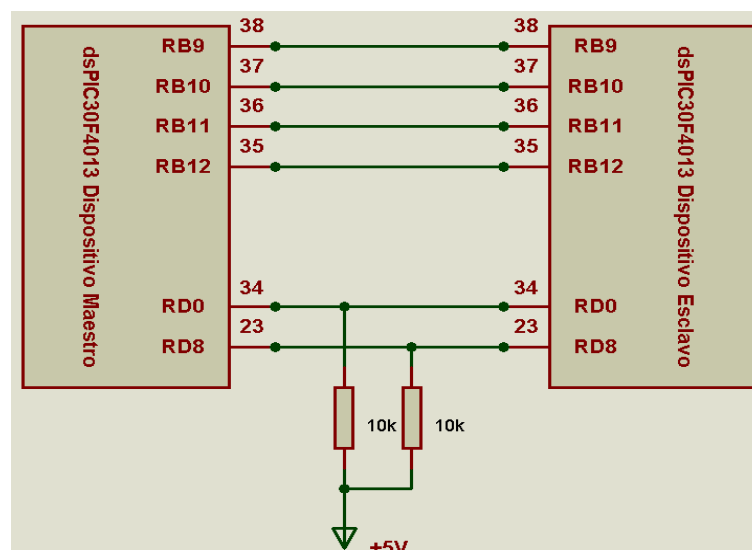


Figura 6. Esquema de conexión entre microcontroladores dsPIC30F4013.

Como puede observarse en la figura anterior, en las líneas 5 y 6 correspondientes a los bits de reconocimiento se colocó una resistencia de pull-up a cada una para garantizar su estado lógico en alto al instante de encender el prototipo, dado que los datos son transferidos cuando una de estas líneas es puesta en estado lógico bajo.

3.2.2. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y PIC16F887

La comunicación entre estos microcontroladores cumple con la función de transferir utilizando 4 líneas el dato (nibble menos significativo) calculado por el dsPIC30F4013 dispositivo maestro hacia el PIC16F887 para la activación o desactivación de cada uno de los condensadores que conforman el banco.

Adicionalmente, se deja implementado el hardware incluyendo resistencias de pull-up en dos líneas, con la finalidad de que se pueda realizar cualquier otro tipo de comunicación, ya sea similar a la descrita en el punto 3.2.1 o utilizando otro tipo de protocolo (I²C, SPI, UART).

El esquema de conexión del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro con el microcontrolador PIC16F887 a utilizarse en este proyecto se coloca a continuación:

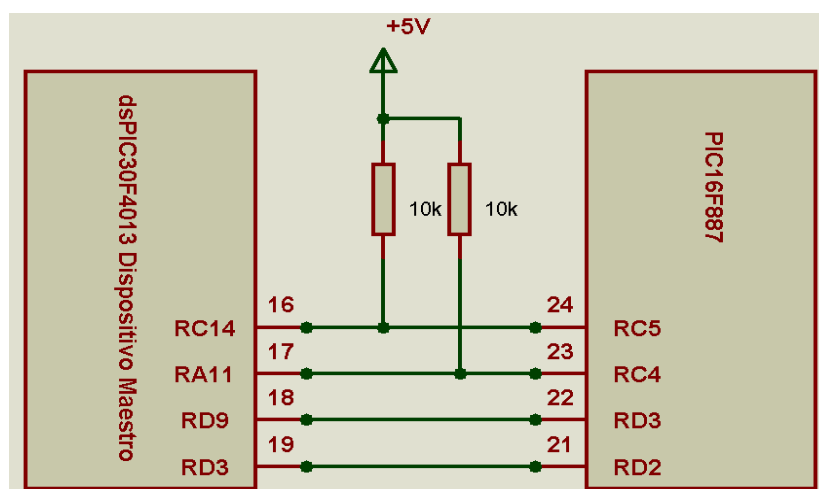


Figura 7. Esquema de conexión entre microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivo maestro y PIC16F887.

3.3. Sistema de Almacenamiento de Información

El almacenamiento de la información eléctrica así como la hora y fecha se realiza empleando una memoria micro SD controlada por el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo, el cual recibirá los datos del dsPIC30F4013 dispositivo maestro y los almacenará en la memoria con un periodo de tiempo de un segundo.

Cada vez que se requiera un nuevo registro de información de los parámetros eléctricos, se generará un nuevo archivo de datos para su posterior almacenamiento. De manera análoga, se generará un nuevo archivo de datos cada vez que el reloj a tiempo real registre un paso por las 00H00 mientras el prototipo se encuentre almacenando información.

3.3.1. Memorias Flash micro SD

Las memorias micro SD son un tipo de memorias flash no volátiles, es decir, no es necesaria una alimentación externa para mantener la información almacenada dentro de ellas. Poseen una gran capacidad de almacenamiento del orden de los Giga Bytes, lo cual las hace ideales para aplicaciones donde se requiere almacenar grandes cantidades de información a gran velocidad.

Las características principales de este tipo de memorias son [9]:

- Tensión de operación: 2.7 a 3.6 V.
- Temperatura de operación: -25 a 85°C.
- Durabilidad: 10000 ciclos de inserción y retiro de la tarjeta.
- Total compatibilidad con tarjetas SD.
- Cumple con las especificaciones de la “SD Association File System”.
- Protección mecánica de escritura empleando un adaptador para memoria micro SD.
- Protocolos de comunicación en modo SD y modo SPI.

Los pines de las memorias micro SD se definen según el modo de comunicación que se vaya a emplear y estos se muestran en la siguiente tabla así como también la distribución física de los mismos, extraídos de la hoja de datos del fabricante Transcend [9].

Tabla 5. Asignación de pines a memoria micro SD según el modo de comunicación.

Pin No.	SD Mode			SPI Mode		
	Name	Type	Description	Name	Type	Description
1	DAT2	I/O/PP	Data Line [Bit2]	RSV		Reserved
2	CD/DAT3	I/O/PP	Card Detect / Data Line [Bit3]	CS	I	Chip Select
3	CMD	PP	Command / Response	DI	I	Data In
4	V _{DD}	S	Supply voltage	V _{DD}	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock	SCLK	I	Clock
6	V _{SS}	S	Supply voltage ground	V _{SS}	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O/PP	Data Line [Bit0]	DO	O/PP	Data out
8	DAT1	I/O/PP	Data Line [Bit1]	RSV		Reserved

Placement



Figura 8. Distribución física de pines de una memoria micro SD.

El protocolo de comunicación que se va a emplear para manejar la memoria micro SD será el SPI (pues es el que se dispone en el microcontrolador dsPIC30F4013), por lo que se deberá tener en cuenta la distribución de los pines para este modo de comunicación.

Debido a la tensión de operación de la memoria micro SD, será necesario colocar un regulador de tensión de 3.3V para la alimentación de la misma. Además, se requerirá de partidores de tensión resistivos para conectar el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo con la memoria de manera que se acoplen las tensiones.

El diagrama de conexiones entre la memoria micro SD y el dsPIC30F4013 dispositivo esclavo a utilizarse en este proyecto se muestra a continuación:

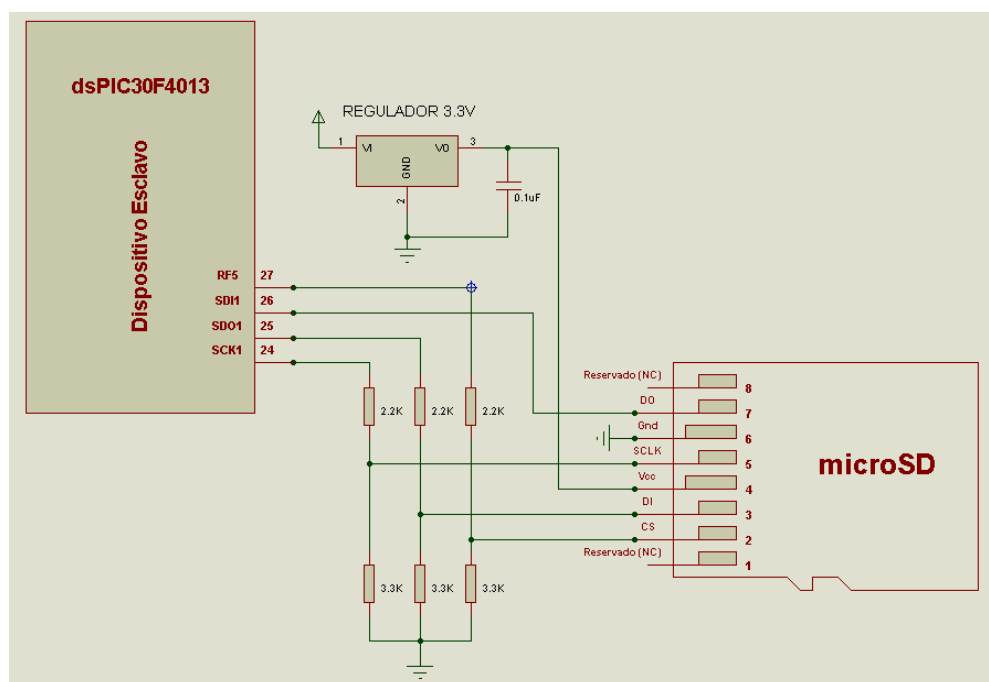


Figura 9. Esquema de conexión de la memoria micro SD.

Debido a que muchos de los entornos de desarrollo para programación de microcontroladores incluyen librerías que permiten manejar este tipo de memorias en formato de archivos FAT16, es posible utilizar memorias de hasta 2GB de capacidad de almacenamiento.

3.4. Elementos para Visualización y Monitoreo

3.4.1. Display LCD 16x2 HD44780

Las pantallas de cristal líquido o display LCD permiten mostrar cualquier carácter alfanumérico, por lo que es posible representar la información generada por un dispositivo electrónico de forma fácil. Consta de una matriz de caracteres generalmente de 5x7 puntos distribuidas en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 y hasta 40 caracteres. El proceso de visualización es comandado por un microcontrolador y el modelo más utilizado es el HITACHI 44780.

Para el presente proyecto se empleará un display LCD de 16 caracteres x 2 filas, donde se mostrará la información necesaria para controlar el prototipo. Las características generales del display LCD mencionado son las siguientes [10]:

- Consumo reducido de potencia, alrededor de 7.5 mW.
- Pantalla de caracteres ASCII, caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres de izquierda a derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite al usuario programar ocho caracteres propios.
- Puede ser controlado con una conexión de 4 u 8 bits.
- Tensión de operación de 5V.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de los pines que conforman el display LCD [10] y su respectiva imagen:

- *Pin 1.*- V_{SS} es el pin de alimentación que va conectado a la referencia o tierra de la fuente (GND).
- *Pin 2.*- V_{DD} es el pin de alimentación +5V.

- *Pin 3.- VE* es el pin de tensión para el control del contraste de la pantalla del display LCD que debe realizarse por medio de un potenciómetro.
- *Pin 4.- RS* es el pin de selección del registro.
- *Pin 5.- R/W* es el pin de control de lectura o escritura del display LCD.
- *Pin 6.- EN* es el pin de habilitación del display LCD.
- *Pines 7 al 14.-* Son los pines de datos.
- *Pin 15.-* Es el pin de conexión del ánodo para la luz de fondo del display LCD.
- *Pin 16.-* Es el pin de conexión del cátodo para la luz de fondo del display LCD.



Figura 10. Distribución física de pines de un display LCD 16x2 HD44780.

El control del display LCD se llevará a cabo por parte del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo y el esquema de conexión a utilizarse en este proyecto se muestra a continuación:

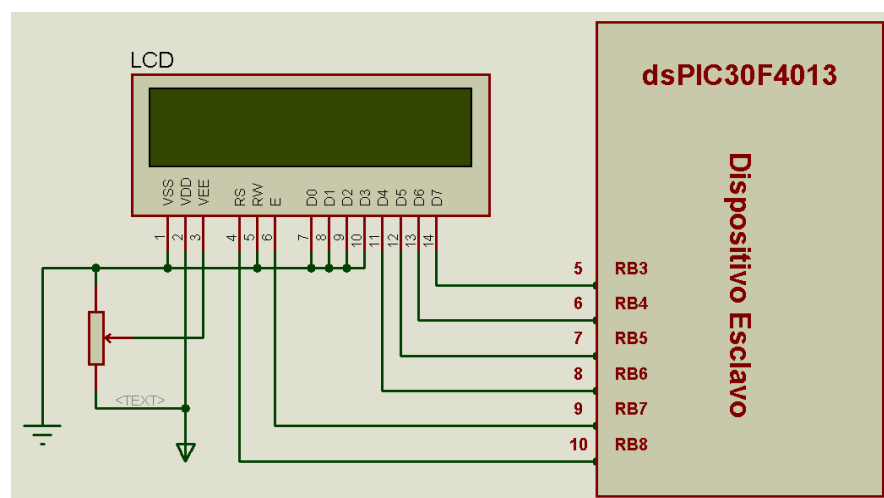


Figura 11. Esquema de conexión del display LCD 16x2 HD44780.

3.4.2. Módulo Bluetooth HC-06

Con la finalidad de monitorear el buen funcionamiento del prototipo sin la necesidad de extraer la memoria micro SD del mismo y comprobar constantemente sus datos almacenados, se propone utilizar un módulo bluetooth para comunicar al prototipo con una aplicación desarrollada para dispositivos con Sistema Operativo Android, donde se mostrará la información a tiempo real de los parámetros eléctricos que se van almacenando en la memoria micro SD.

El dispositivo bluetooth que se va a utilizar en este proyecto es el HC-06, el cual es un módulo que utiliza el protocolo de comunicación UART, por lo que es posible manejarlo con un microcontrolador que para este proyecto será el dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

Las características principales de este dispositivo bluetooth se describen a continuación [11]:

- Módulo transceiver y antena de 2.4 GHz.
- Puede operar con bajas tensiones (3.1V - 4.2V).
- Consumo de corriente de 30 a 40mA en proceso de emparejamiento.
- Consumo de 8mA en proceso de comunicación.
- Velocidad de transmisión de datos de hasta 1.3Mbps.
- Incluye un regulador de tensión para alimentarlo directamente con 5V.
- Tensión de operación de 3.3V en los pines de comunicación.

Ya que la tensión de operación en los pines RX y TX del módulo bluetooth es de 3.3V, es necesario hacer un acople de tensiones por medio de un partidor de tensión resistivo en el pin RX para comunicarlo con el microcontrolador. El diagrama de conexiones entre el dispositivo bluetooth y el dsPIC30F4013 dispositivo maestro a utilizarse en este proyecto se muestra a continuación:

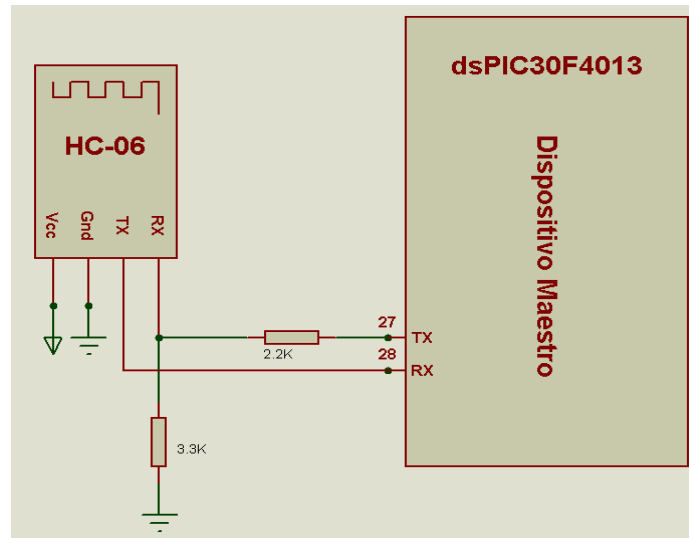


Figura 12. Esquema de conexión del módulo bluetooth HC-06.

3.5. Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación será el encargado de proveer la potencia necesaria al prototipo con los distintos niveles de tensión requeridos. Este debe cumplir con las siguientes características:

- Buena estabilidad de tensión.
- Capacidad suficiente de suministro de corriente.

Para el diseño del sistema de alimentación se toma en consideración los siguientes aspectos:

- *Adecuación del nivel de tensión alterna de entrada.*- Esto se hace empleando un transformador reductor 120/12V.
- *Etapas de rectificación y filtrado de la tensión de salida del transformador.*- Consta de un puente rectificador de diodos y un condensador electrolítico.
- *Etapas de regulación de la tensión rectificada y filtrada.*- Es necesario adaptar los niveles de tensión continua según las necesidades de los

dispositivos electrónicos, esto se hace empleando reguladores de tensión del tipo 78XX.

- *Filtrado de salida de los distintos niveles de tensión continua regulados.*- Consta de un condensador de almacenamiento y un condensador de desacoplo.

El prototipo requiere de tres niveles de tensión continua para su funcionamiento que son +3.3V, +5V y +9V. El esquema de la fuente de alimentación a utilizarse en este proyecto se presenta a continuación:

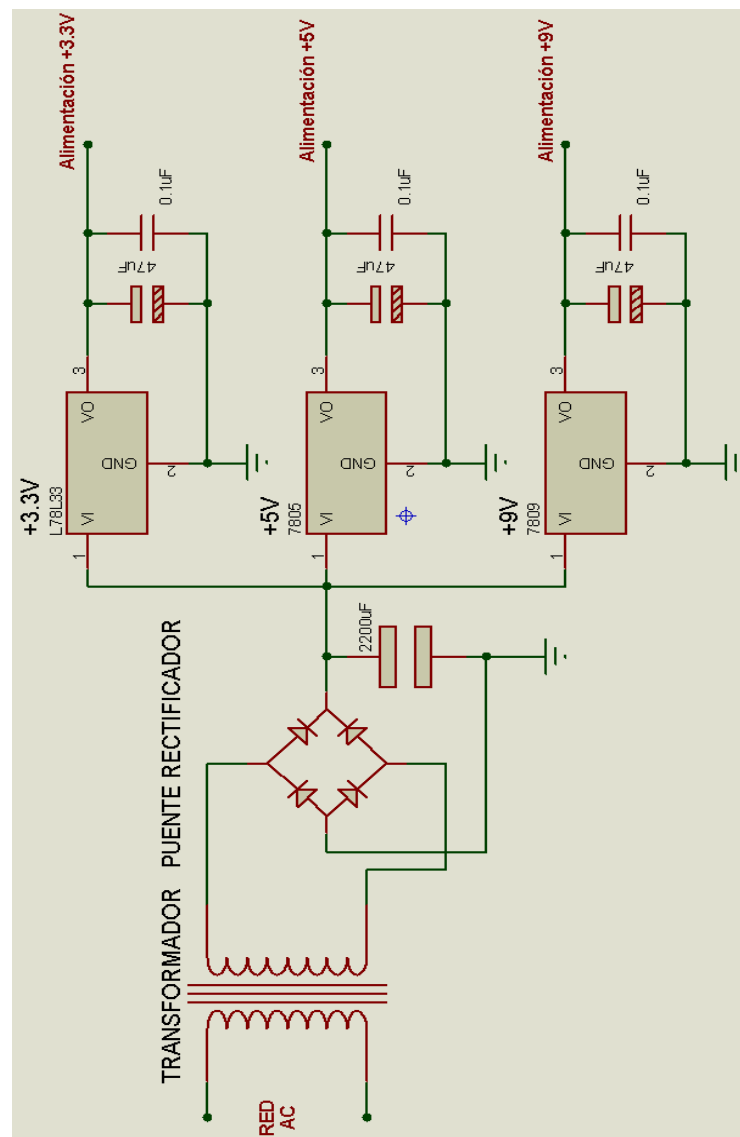


Figura 13. Esquema de conexión de la fuente de alimentación.

El sistema de alimentación obtendrá la potencia directamente del sistema eléctrico residencial al cual se conecte el prototipo usando la primera fase para su conexión, por lo que ésta fase siempre debe emplearse para realizar cualquier tipo de medición eléctrica ya sea monofásica, bifásica o trifásica.

3.6. Sistema de Actuación del Banco de Condensadores

Para conectar y desconectar cada uno de los condensadores que conforman el banco en un sistema eléctrico residencial de forma automática y por etapas, es necesario implementar un circuito basado en electrónica de potencia que pueda ser comandado por un microcontrolador.

Se utilizará un TRIAC como elemento principal para la conmutación de los condensadores, el mismo que será manejado por un OPTO TRIAC con la finalidad de aislar el circuito de potencia del circuito digital.

A continuación, se describe cada uno de los componentes que conformarán el circuito de actuación para el banco de condensadores.

3.6.1. Banco de Condensadores

El banco de condensadores estará conformado por cuatro unidades de manera que sea posible obtener 15 combinaciones de reactivos capacitivos que puedan ser inyectados al sistema eléctrico residencial.

Para realizar las pruebas del banco de condensadores, se consiguieron unidades cuyos valores de capacitancia son:

- *Condensador 1: 4 μF*
- *Condensador 2: 7.5 μF*
- *Condensador 3: 14 μF*
- *Condensador 4: 30 μF*

Mediante estos condensadores, es posible compensar un rango de potencias reactivas de:

$$Q(VAR) = C * 2 * \pi * f * V^2$$

$$Q_{min} = 4\mu F * 2 * \pi * 60Hz * (127 V)^2 = 24.32 VAR$$

$$Q_{max} = 55.5 \mu F * 2 * \pi * 60Hz * (127 V)^2 = 337.47 VAR$$

3.6.2. Microcontrolador PIC16F887

El PIC16F887 es un microcontrolador de 8 bits con tecnología CMOS y memoria tipo flash. Es uno de los microcontroladores de rango medio más completos que se encuentran disponibles en la actualidad, siendo una excelente opción para aplicarlo en proyectos de electrónica embebida de mediana complejidad.

El diagrama de pines del PIC16F887 extraído de la hoja de dato del mismo es [12]:

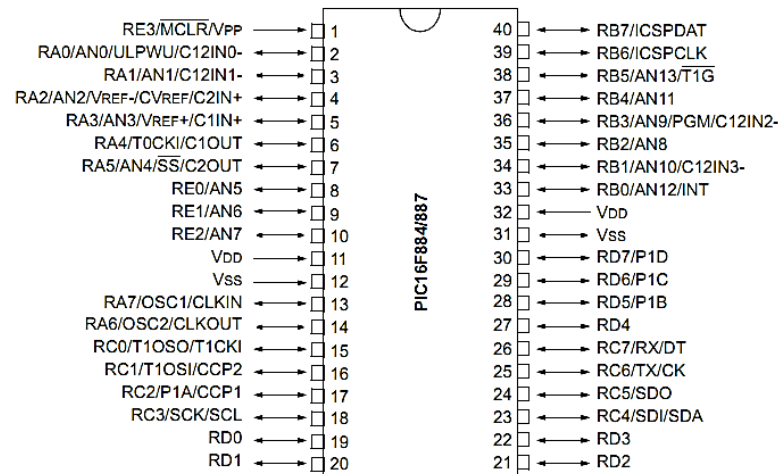


Figura 14. Diagrama de pines del microcontrolador PIC16F887.

Las características más relevantes de este microcontrolador se describen a continuación [12]:

- Arquitectura de instrucciones reducidas RISC.
- Frecuencia de operación de hasta 20MHz.
- Oscilador interno de alta precisión.
- Tensión de operación de 2 a 5.5V.
- Brown-Out Reset controlado por software.
- 35 pines de entrada/salida.
- Memoria de programa de 8KBytes.
- 256 Bytes de memoria EEPROM.
- 368 Bytes de memoria RAM.
- Conversor A/D con 14 canales analógicos.
- 3 TIMER/COUNTERs independientes.
- Módulo de comunicación USART.
- Puerto MSSP con comunicación SPI e I²C.

Características adicionales de este dispositivo pueden ser encontradas en la hoja de datos del mismo que es proporcionada por el fabricante en su página web.

Se seleccionó este microcontrolador para comandar el banco de condensadores principalmente por su capacidad de pines de entrada/salida y su relativa facilidad de programación.

3.6.3. TRIAC BTA16 y OPTO-TRIAC MOC3041

El TRIAC BTA16 es un dispositivo de conmutación que como todo tipo de triac forma parte de la familia de los tiristores. Este dispositivo permite manejar corrientes RMS de hasta 16A y es el que se utilizara en este proyecto para el circuito del comando del banco de condensadores.

Las características principales de este triac se escriben a continuación [13]:

- Alta tasa de variación de corriente, 50A/us.
- Soporte de corrientes instantáneas de hasta 168A.

- Tensión máxima de operación de 600V.
- Manejo de corriente en estado estable de hasta 16A.

Con un triac de 16A de capacidad de conducción, es posible conectar o desconectar un capacitor a una tensión de 127V con una capacidad de reactivos de:

$$Q = I_c * V$$

$$Q = 16A * 127V = 2032VAR$$

Esta potencia reactiva equivale a una capacitancia de:

$$C = \frac{Q}{2 * \pi * f * V^2}$$

$$C = \frac{2032 VAR}{2 * \pi * 60 * 127^2} = 334\mu F$$

De acuerdo a lo anterior, es posible manejar cada uno de los condensadores descritos en el punto 3.6.1 sin ningún inconveniente. Además, el circuito del banco queda proyectado para utilizarlo con condensadores de mayor capacidad (máximo 334 μF).

Para el manejo del triac, se emplea un opto-triac que permite activar y desactivar el triac aplicando señales digitales. El opto-triac utilizado en este proyecto es el MOC3041.

El MOC3041 consta de un diodo de arseniuro de galio el cual se acopla ópticamente a un detector de silicio monolítico que realiza la función de detectar el cruce por cero de la tensión para manejar el tiristor bilateral o triac [14].

Las características principales del MOC3041 son [14]:

- Simplifica el control lógico de potencia AC.
- Incluye un detector de cruce por cero de la señal de tensión.
- dv/dt de $1000V/\mu s$ garantizado.
- Corriente mínima de polarización del diodo de 15mA.
- Corriente máxima de polarización del diodo de 60mA.

El esquema de conexión para el comando de cada uno de los condensadores que conformaran el banco utilizando el triac y opto-triac se muestra a continuación:

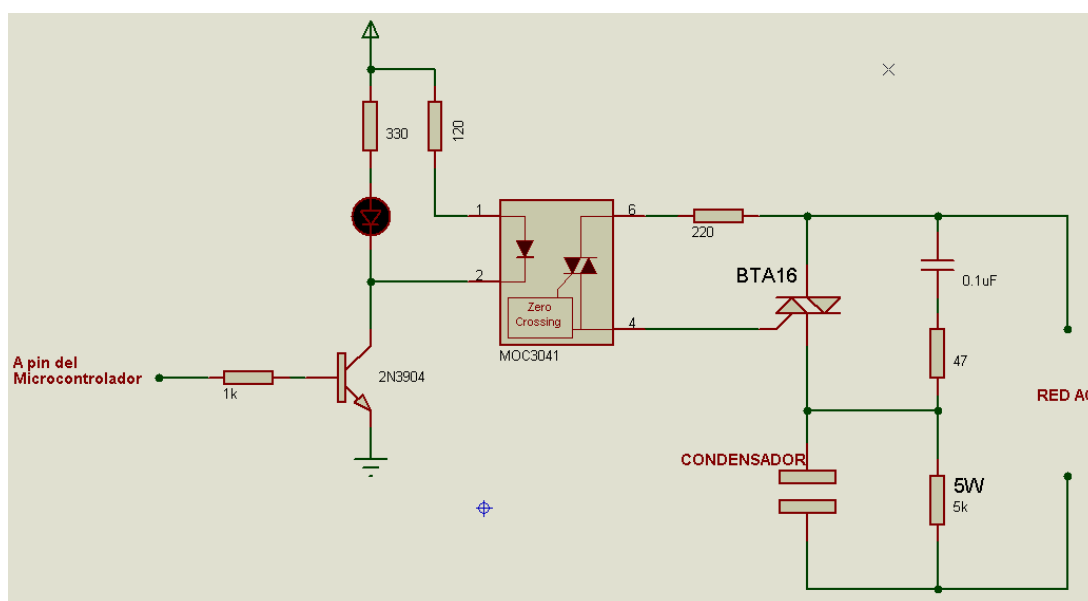


Figura 15. Esquema de conexión del TRIAC Y OPTO-TRIAC para el comando de un condensador.

Se añade una red de protección snubber al triac para limitar la velocidad de variación de tensión dv/dt . Es necesario conectar una resistencia de descarga en paralelo con el condensador con el fin de asegurar que la tensión presente en el mismo sea la mínima al momento de conectarlo al sistema eléctrico residencial.

3.7. Diseño del PCB

3.7.1. Pautas para el Diseño de un Circuito Impreso

Para diseñar un circuito impreso de forma correcta, es necesario tomar en consideración algunas pautas básicas referentes al sistema de alimentación y al trazado de las pistas o routeado del mismo. Estas pautas básicas se mencionan a continuación [15]:

- El sistema de alimentación debe contener capacitores de almacenamiento y desacoplo con el fin de poder suplir demandas muy rápidas de corriente, que generalmente se presentan en los circuitos digitales.
- Deben colocarse capacitores de desacoplo en las entradas de alimentación de todos los dispositivos electrónicos tales como sensores, amplificadores, circuitos digitales, microcontroladores, etc.
- Es recomendable colocar planos de alimentación y de referencia o tierra en caras opuestas del circuito impreso con la finalidad de reducir el ruido que puedan genera los dispositivos contenidos en el mismo.
- Al realizar el routeado del circuito, las pistas de conexión entre elementos deben ser lo más cortas posible y se debe evitar utilizar pistas demasiado delgadas. Todo esto con la finalidad de reducir al máximo la inductancia de las pistas en el circuito, pues dicha inductancia afecta al buen funcionamiento del mismo especialmente cuando se trabaja con altas frecuencias.

Las pautas mencionadas anteriormente, son la que se consideraran para realizar los circuitos impresos tanto del sistema principal como del sistema de actuación del banco de condensadores.

3.7.2. Software EAGLE

Para diseñar una placa de circuito impreso es necesario utilizar un software que facilite este trabajo. Uno de los paquetes de software más conocido y utilizado para la elaboración de circuitos impresos es el EAGLE (desarrollado por CadSoft USA), el cual se empleará para los diseños de los PCBs del presente proyecto.

El software EAGLE permite elaborar diagramas esquemáticos en una ventana dedicada para este fin y luego poder routearlo en otra ventana ya sea de forma manual o empleando la herramienta de autorouteado integrada en el mismo.

Eagle integra varias librerías de componentes que pueden utilizarse en los proyectos y además presenta la posibilidad de crear librerías de componentes propias. Adicionalmente, existen en internet gran cantidad de librerías de componentes elaboradas por terceros y que pueden descargarse sin ningún costo para su utilización.

3.7.3. Diseños Esquemáticos

Los diseños esquemáticos de este proyecto se realizan en la ventana del software Eagle dedicada para este fin. Basta con elegir los distintos elementos a utilizar y conectarlos entre si empleando las herramientas del programa.

Los diseños esquemáticos de los circuitos electrónicos para este proyecto utilizando el software EAGLE se presentan en el Anexo 2 y Anexo 3.

3.7.4. Diseños de PCB Layout

Una vez realizado los diseños esquemáticos de los circuitos electrónicos para este proyecto en su correspondiente ventana de EAGLE, es necesario distribuir los componentes de forma física (dentro de la ventana para PCB Layout) en las áreas que tendrán las placas de cada uno de los circuitos impresos, para luego



trazar las pistas de conexión entre dichos elementos. Para llevar a cabo esta tarea se emplea la herramienta de ruteado de tarjetas de EAGLE.

En la ventana de ruteado de EAGLE aparecerán los componentes con su forma física, los cuales deberán colocarse sobre las áreas de trabajo definidas por los tamaños de las tarjetas de circuito impreso o PCB. Luego de distribuir los distintos componentes sobre las áreas de trabajo, es posible emplear la herramienta de autoruteado para trazar las pistas de conexión entre componentes automáticamente, o si se prefiere se puede realizar este trabajo manualmente.

Para el presente proyecto se realizó el trazado de las pistas de conexión entre componentes empleando doble capa y realizando las conexiones manualmente, ya que así es posible aplicar las pautas de diseño de PCB mencionadas en el punto 3.7.1.

Los diseños de PCB Layout de los circuitos electrónicos para este proyecto utilizando el software EAGLE se presentan en el Anexo 4 y Anexo 5.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

El software del sistema se diseña con la finalidad de una vez adquiridas las señales de las ondas de tensión y corriente de un sistema eléctrico residencial, calcular los valores de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente del mismo, para luego ser almacenados en una memoria micro SD y tener la posibilidad de monitorearlos en un dispositivo con Sistema Operativo Android para verificar su correcto funcionamiento.

4.1. Entornos de Desarrollo para DSCs y Microcontroladores PIC

Existen varios entornos de desarrollo que pueden utilizarse para programar los microcontroladores tanto en lenguaje de alto nivel como en ensamblador, los cuales pueden ser proporcionados por el mismo fabricante o desarrollados por terceros. Entre los entornos de desarrollo más conocidos se tiene: MPLAB, MPLABX, MikroC PRO, CCS C, etc.

Los entornos de desarrollos proveen varios tipos de compiladores, cada uno de ellos enfocados a un conjunto de dispositivos. La elección de uno u otro tipo de compilador dependerá de las necesidades y preferencias del programador así como de las facilidades y características específicas que estos presenten.

El lenguaje de programación que se utilizara en este proyecto es el Lenguaje C, por ser un lenguaje potente y de alto nivel. El IDE seleccionado para este fin es el MikroC PRO ya que incluye múltiples librerías que facilita la programación.

4.1.1. IDE MikroC PRO for dsPIC

MikroC PRO for dsPIC es un compilador ANSI C completo diseñado específicamente para trabajar con las familias de microcontroladores dsPIC30/33 y PIC24 de la empresa Microchip Inc. Este compilador incluye varias librerías tanto de hardware como de software y múltiples herramientas que facilitan el desarrollo de los proyectos que emplean los controladores digitales de señales dsPIC y los PICs 24.

4.1.2. IDE MikroC PRO for PIC

MikroC PRO for PIC es un compilador ANSI C completo diseñado específicamente para trabajar con los microcontroladores PIC de la empresa Microchip Inc. Este compilador incluye varias librerías tanto de hardware como de software y múltiples herramientas que facilitan el desarrollo de los proyectos que utilizan los dispositivos PIC.

4.1.3. Librerías Integradas en MikroC PRO

Tanto MikroC PRO for PIC como MikroC PRO for dsPIC incluyen varias librerías que se utilizarán en el desarrollo del software de este proyecto, dichas librerías se describen a continuación:

- *Librería Conversions.-* Esta librería incluye varias subrutinas para transformar cantidades entre distintos formatos tales como: Hexadecimal, Short, Int, Long, Byte, Word, Float, BCD, Dec, etc.
- *Librería C_Math.-* Esta librería se incluye en el conjunto de librerías estándar ANSI C, la cual incluye varias subrutinas para trabajar con matemática de punto flotante.

- *Librería C_String.*- Esta librería se incluye en el conjunto de librerías estándar ANSI C, y sirve para manejar cadenas de caracteres y memoria RAM.
- *Librerías Mmc y Mmc_FAT16.*- Estas librerías incluyen varias subrutinas que permiten manejar memorias multimedia y memorias tipo SD de hasta 2GB de capacidad.
- *Librería SPI.*- Esta librería contiene subrutinas que sirven para configurar y utilizar la comunicación con protocolo SPI entre un microcontrolador y distintos tipos de periféricos.
- *Librería LCD.*- Esta librería contiene subrutinas que permiten controlar un display LCD que utiliza el controlador HD44780 o alguno compatible, por medio de una interface de 4bits.
- *Librería UART.*- Esta librería contiene subrutinas para realizar comunicaciones serie asincrónicas en ambos sentidos (full dúplex) con distintos dispositivos y equipos que manejen este mismo protocolo de comunicación.
- *Librería FFT.*- Esta librería presente únicamente en MikroC PRO for dsPIC permite aplicar el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier a un conjunto de muestras de una señal y con ello obtener el espectro de frecuencia de la misma.

4.2. Formulación para el Cálculo de los Parámetros Eléctricos

4.2.1. Fórmulas para el Cálculo de la Tensión RMS, Corriente RMS, Potencia Activa y Factor de Potencia

Las fórmulas para el cálculo de la tensión RMS, corriente RMS, potencia activa y factor de potencia requieren de la utilización del método del trapecio, el cual

es un método de integración numérica que consiste en aproximar una integral definida utilizando N trapecios. Según este método [16]:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2n} [f(X_0) + 2f(X_1) + 2f(X_2) + \dots + 2f(X_{n-1}) + f(X_n)]$$

Dónde:

n = Número de trapecios que se ha dividido la función a integrar o #muestras $- 1$.

a, b = Intervalo en el que se encuentra comprendida la función a integrar.

Los datos almacenados de las ondas de tensión y corriente están comprendidos en un periodo de las mismas, por lo que el intervalo de integración de estas se encuentran entre:

$$a = 0$$

$$b = T = \frac{1}{60\text{Hz}}$$

Por lo dicho anteriormente, se tiene que:

$$\int_0^T f(x)dx \approx \frac{T}{2n} [f(X_0) + 2f(X_1) + 2f(X_2) + \dots + 2f(X_{n-1}) + f(X_n)] \quad (9)$$

4.2.1.1. Fórmula para el Cálculo de la Tensión RMS

La Tensión RMS está definida por la siguiente ecuación [17]:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t)dt} \quad (10)$$

De la ecuación (9), se tiene que:

$$\int_0^T v^2(t)dt \approx \frac{T}{2n} \{[f(V_0)]^2 + 2[f(V_1)]^2 + 2[f(V_2)]^2 + \dots + 2[f(V_{n-1})]^2 + [f(V_n)]^2\}$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación (10):

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} * \frac{T}{2n} \{[f(V_0)]^2 + 2[f(V_1)]^2 + 2[f(V_2)]^2 + \dots + 2[f(V_{n-1})]^2 + [f(V_n)]^2\}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2n} \{[f(V_0)]^2 + 2[f(V_1)]^2 + 2[f(V_2)]^2 + \dots + 2[f(V_{n-1})]^2 + [f(V_n)]^2\}} \quad (11)$$

Mediante la utilización de la ecuación (11) y las muestras obtenidas de las ondas de tensiones, se calculará los valores de las tensiones RMS para este proyecto.

4.2.1.2. Fórmula para el Cálculo de la Corriente RMS

La Corriente RMS está definida por la siguiente ecuación [17]:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t)dt} \quad (12)$$

De la ecuación (9), se tiene que:

$$\int_0^T i^2(t)dt \approx \frac{T}{2n} \{[f(I_0)]^2 + 2[f(I_1)]^2 + 2[f(I_2)]^2 + \dots + 2[f(I_{n-1})]^2 + [f(I_n)]^2\}$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación (12):

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} * \frac{T}{2n} \{[f(I_0)]^2 + 2[f(I_1)]^2 + 2[f(I_2)]^2 + \dots + 2[f(I_{n-1})]^2 + [f(I_n)]^2\}}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2n} \{ [f(I_0)]^2 + 2[f(I_1)]^2 + 2[f(I_2)]^2 + \dots + 2[f(I_{n-1})]^2 + [f(I_n)]^2 \}} \quad (13)$$

Mediante la utilización de la ecuación (13) y las muestras obtenidas de las ondas de corrientes, se calculará los valores de las corrientes RMS para este proyecto.

4.2.1.3. Fórmula para el Cálculo de la Potencia Activa

La Potencia Activa está definida por la siguiente ecuación [17]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt \quad (14)$$

De la ecuación (9), se tiene que:

$$\int_0^T v(t) i(t) dt \approx \frac{T}{2n} [f(V_0)f(I_0) + 2f(V_1)f(I_1) + 2f(V_2)f(I_2) + \dots + 2f(V_{n-1})f(I_{n-1}) + f(V_n)f(I_n)]$$

Reemplazando la ecuación anterior en la ecuación (14):

$$P = \frac{1}{T} * \frac{T}{2n} [f(V_0)f(I_0) + 2f(V_1)f(I_1) + 2f(V_2)f(I_2) + \dots + 2f(V_{n-1})f(I_{n-1}) + f(V_n)f(I_n)]$$
$$P = \frac{1}{2n} [f(V_0)f(I_0) + 2f(V_1)f(I_1) + 2f(V_2)f(I_2) + \dots + 2f(V_{n-1})f(I_{n-1}) + f(V_n)f(I_n)] \quad (15)$$

Mediante la utilización de la ecuación (15) y las muestras obtenidas de las ondas de tensiones y corrientes, se calculará los valores de potencia activa para este proyecto.

Se debe considerar que tanto las muestras de tensión como de corriente de una misma fase deben ser adquiridas en el mismo instante de tiempo para garantizar la precisión en el cálculo de la potencia activa en dicha fase.

4.2.1.4. Fórmula para el Cálculo del Factor de Potencia

El factor de potencia está definido por la siguiente ecuación [17]:

$$fp = \frac{P}{V_{RMS} * I_{RMS}} \quad (16)$$

Mediante la utilización de la ecuación (16) y los valores calculados de las tensiones RMS, corrientes RMS y potencias activas descritos anteriormente, se calcula los factores de potencia para este proyecto.

4.2.2. Fórmula para el Cálculo de la Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente

Para el cálculo de la distorsión armónica total (THD) de una onda se debe de cumplir con las siguientes condiciones [18]:

- Que la onda sea periódica y permanente.
- Que la onda se encuentre definida en un periodo de la misma.
- El número de muestras obtenidas de la onda sea un número par.

La fórmula utilizada para el cálculo de la distorsión armónica total (THD) de una onda es la siguiente [3]:

$$THD_x = \frac{1}{x_1} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} x_i^2} * 100\% \quad (17)$$

Dónde:

x_1 = Es la magnitud de la señal de frecuencia fundamental.

x_2, x_3, x_4 = Son las magnitudes individuales de los armónicos presentes en dicha señal.

Para el cálculo de THD, se debe transformar la señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia aplicando la transformada rápida de Fourier.

Mediante la utilización de la ecuación (17) y los arrays de tensiones y corrientes descritos anteriormente, se calculará los valores de distorsión armónica total de tensiones y corrientes para este proyecto.

4.3. Algoritmos y Programación

4.3.1. Algoritmo para la Adquisición de las señales de Tensión y Corriente

La adquisición de las señales de tensión y corriente de un sistema eléctrico residencial se realiza configurando el módulo ADC del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro a su máxima tasa de muestreo (100 Ksps), con la finalidad de tener la mínima diferencia de tiempo entre adquisición de muestras de canales consecutivos.

El tiempo total entre adquisición de muestras de canales consecutivos es de:

$$t_{ss} = \frac{1}{100KHz} + t_a$$

Dónde:

t_{ss} = Tiempo total entre adquisición de muestras de canales consecutivos.

t_a = Tiempo requerido por el microcontrolador para almacenar la muestra.

Considerando $t_a = 1\mu s$, se tiene:

$$t_{ss} = \frac{1}{100KHz} + 1\mu s$$

$$t_{ss} = 10\mu s + 1\mu s$$

$$t_{ss} = 11\mu s$$

El error que se comete al considerar un muestreo simultáneo de las ondas de tensión y corriente de una misma fase cuya frecuencia es de 60 Hz es:

$$Error\% = \frac{11\mu s}{1/60Hz} * 100$$

$$Error\% = 0.066$$

Dado que el error es despreciable, no se tendrá inconvenientes con dicha consideración.

La frecuencia de muestreo seleccionada para la adquisición de las señales de tensión y corriente es de 3840 Hz. Se eligió esta frecuencia tomando en consideración lo siguiente:

- Según el criterio de Nyquist, con 3840 Hz es posible caracterizar hasta el armónico número 32 de una señal de 60 Hz.
- El número de muestras que se adquieren con una frecuencia de muestreo de 3840 Hz aplicada a una señal de 60 Hz es de 64 muestras. Este número de muestras son necesarias para aplicar las librerías de la transformada rápida de Fourier que están incluidas en MikroC PRO FOR dsPIC.

Tomando en cuenta lo anterior, la configuración del módulo ADC del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro debe ser la siguiente:

```
ADCON1=0x20E4;           //Configuraciones del ADCON
                          //Configuraciones necesarias, modo conversión automático, formato entero, ADON = 0
ADCON2=0x0418;           //Referencias AVDD y AVSS, buffer 16bits, usar siempre MUXA
ADCON3=0x0106;           //ADCS = 6 para 20MHz, TAD = 700ns , 1TAD para adquisición, muestreo total 15TAD = 10.5us
ADCHS=0x0000;            //Configuración por defecto
ADCSSL=0x003F;           //Scaneo secuencial desde AN0 hasta AN5;
```

Figura 16. Configuración del módulo ADC - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

Se utiliza el temporizador TIMER1 y su correspondiente interrupción del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro para la adquisición de las muestras de cada una de las ondas de tensión y corriente. Con la finalidad de

obtener 64 muestras en una señal de 60 Hz, el valor de carga del TIMER1 debe ser de:

$$T = \frac{1}{60Hz}$$

$$T = 16,667 \text{ ms}$$

$$t_{\text{muestreo}} = \frac{T}{\#muestras - 1}$$

$$t_{\text{muestreo}} = \frac{16,667 \text{ ms}}{64 - 1}$$

$$t_{\text{muestreo}} = 264.55 \text{ us}$$

$$TIMER1 = t_{\text{muestreo}} * \frac{f_{osc}}{4}$$

Utilizando un cristal de 20 MHz, se tiene:

$$TIMER1 = t_{\text{muestreo}} * \frac{20MHz}{4}$$

$$TIMER1 = 1322.75 \approx 0x052B$$

El valor de carga del TIMER1 para tener una frecuencia de muestre de 3840Hz debe ser de 1323 en decimal o 0x052B en hexadecimal.

Configurada la interrupción, el valor de carga e iniciado correctamente el TIMER1, el mismo se dirigirá a su rutina de interrupción cada vez que cuente hasta su valor de carga y se reinicie. Dentro de la rutina de interrupción del TIMER1, se almacenara las muestras de tensiones y de corrientes leyendo los buffers (ADCBUFx) correspondientes a cada señal en arrays tipo entero definidos de la siguiente manera:

- Para la tensión de la fase 1: Voltaje1[64].
- Para la corriente de la fase 1: Corriente1[64].
- Para el tensión de la fase 2: Voltaje2[64].
- Para la corriente de la fase 2: Corriente2[64].
- Para el tensión de la fase 3: Voltaje3[64].
- Para la corriente de la fase 3: Corriente3[64].

A continuación, se muestra la rutina de interrupción del TIMER1:

```
//*****  
//SUBROUTINA DE INTERRUPCIÓN POR EL TIMER1//  
//  
unsigned int TIMER1() iv IVT_ADDR_T1INTERRUPT ics ICS_AUTO {  
    IEC0.T1IE=0;           //Desabilita la interrupción por el TIMER1  
    Voltaje1[ADC]=ADCBUF0;   //Guarda Voltaje 1  
    Voltaje2[ADC]=ADCBUF2;   //Guarda Voltaje 2  
    Voltaje3[ADC]=ADCBUF4;   //Guarda Voltaje 3  
    Corriente1[ADC]=ADCBUF1; //Guarda Corriente 1  
    Corriente2[ADC]=ADCBUF3; //Guarda Corriente 2  
    Corriente3[ADC]=ADCBUF5; //Guarda Corriente 3  
    ADC+=1;                //Incrementa en 1 para guardar los datos en la siguiente dirección (Siguiete muestra)  
    IFS0.T1IF=0;           //Borra la bandera del TIMER1  
    IEC0.T1IE=1;           //Habilita la interrupción por el TIMER1  
}
```

Figura 17. Adquisición de las señales de tensiones y corrientes - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

La rutina de interrupción del TIMER1 se realizara 64 veces por medio de un bucle definido en la subrutina *ADC_TomaMuestra()*, lo cual garantizara el almacenamiento de las 64 muestras tanto de tensiones como de corrientes. A continuación, se muestra la subrutina *ADC_TomaMuestra()*:

```
//*****  
//SUBROUTINA PARA LA TOMA DE LAS 64 MUESTRAS DE LAS 6 ONDAS//  
//  
//NOTA: Las 64 muestras corresponde al periodo completo de cada una de las ondas  
unsigned int ADC_TomaMuestra() {  
    ADCON1.ADON = 1;           //Enciende el ADC para el muestreo de los datos  
    delay_us(66);              //Retraso para actualizar todos los buffer del ADC  
    ADC=0x00;                  //Dirección de inicio de las tomas de las muestras de las ondas  
    TMR1=0x0000;               //Encera el TIMER1 para el inicio de las tomas de muestras de las ondas  
    T1CON.TON=1;               //Inicia el TIMER1 para las tomas de las muestras de las ondas  
    while(ADC<64) asm nop;     //Toma los 64 valores de las ondas para completar un periodo de muestreo  
    ADCON1.ADON=0;             //Apagamos el ADC (fin del muestreo de datos de las ondas)  
    T1CON.TON=0;               //Apagamos el TIMER1 (fin del muestreo de datos de las ondas)  
}
```

Figura 18. Definición de la frecuencia de muestreo por el TIMER1 - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

Finalmente, el algoritmo para la adquisición de las muestras de cada una de las ondas de tensión y corriente es:

- Configuración de los registros ADCONx.
- Configuración de los 6 canales analógicos.
- Configuración del TIMER1 con su respectiva interrupción.
- Definición de los vectores tipo enteros utilizados para el almacenamiento de cada una de las ondas de tensión y de corriente.
- Lectura y almacenamiento de los ADCBUFx en los vectores tipo enteros de las 64 muestras tanto de tensión como de corriente.

4.3.2. Algoritmo para el Cálculo de la Tensión RMS, Corriente RMS, Potencia Activa y Factor de Potencia

El algoritmo para el cálculo de las tensiones RMS, corrientes RMS, Potencias Activas y factores de potencia de un sistema eléctrico residencial es el siguiente:

1. Dado que las muestras tanto de tensión como de corriente se encuentran dentro de la escala de 0 hasta 4095 proporcionados por el ADC del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro, es necesario centrar estos conjuntos de muestras en cero con la finalidad de eliminar las componentes de corriente continua.

Para centrar el conjunto de muestras correspondientes a una onda se deberá:

- Detectar el valor máximo y el valor mínimo del conjunto de muestras de la onda.
- Calcular el centro de la onda aplicando la siguiente ecuación:

$$centro\ onda = \frac{valor\ maximo - valor\ minimo}{2}$$

- Restar el valor calculado del centro a cada uno de los elementos del conjunto de muestras de la onda.
2. Calcular los valores de tensiones RMS, corrientes RMS, potencias activas y factores de potencia de las ondas aplicando las ecuaciones (11), (13), (15) y (16) descritas en el punto 4.2.1.
 3. Ajustar la escala de los valores calculados de tensión RMS y corriente RMS debido a lo siguiente:
 - Las muestras de las ondas están definidas en la escala que proporciona el ADC.
 - Las muestras de tensión provienen de los partidores resistivos.
 - Las muestras de corriente provienen de los sensores de corriente de efecto HALL.

Por lo dicho anteriormente, los factores de ajustes de escala tanto para los valores de tensión como de corriente son:

- Para los valores de tensión:

$$Factor\ Ajuste_{escala} = \frac{5}{4095} * \frac{127 * \sqrt{2}}{1.95}$$

$$Factor\ Ajuste_{escala} = 0.112221$$

Debido a que las resistencias que conforman los partidores resistivos de cada señal de tensión no son iguales y exactas a los calculados en el punto 3.1.3, será necesario realizar una calibración adicional al factor de ajuste de escala de cada uno de los sensores de tensión utilizando un multímetro de buenas características de precisión.

- Para los valores de corriente:

$$Factor\ Ajuste_{escala} = \frac{5}{4095} * \frac{1}{0.066}$$

$$Factor\ Ajuste_{escala} = 0.018537019$$

4. Almacenar los valores calculados en un array tipo float distribuidos de la siguiente manera:

- Para la tensión RMS de la fase 1: suma[0].
- Para la corriente RMS de la fase 1: suma[1].
- Para el factor de potencia de la fase 1: suma[2].
- Para la tensión RMS de la fase 2: suma[3].
- Para la corriente RMS de la fase 2: suma[4].
- Para el factor de potencia de la fase 2: suma[5].
- Para la tensión RMS de la fase 3: suma[6].
- Para la corriente RMS de la fase 3: suma[7].
- Para el factor de potencia de la fase 3: suma[8].

A continuación, se presenta el algoritmo para el cálculo de la tensión RMS, corriente RMS, potencia activa y factor de potencia de la fase uno, dado que el cálculo para las fases dos y tres es análogo:

```
//-----  
//Subrutina que calcula los los Voltajes RMS, Corriente RMS y fp de las tres fases//  
void Valores_RMS() {  
    //Fase 1 (Voltaje RMS, Corriente RMS, fp)  
  
    max_v=Voltaje1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Voltaje1  
    min_v=Voltaje1[0]; //Inicio de identificación del min de la onda de Voltaje1  
    max_c=Corriente1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Corriente1  
    min_c=Corriente1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Corriente1  
    for (w=1;w<64;w++){  
        if (max_v < Voltaje1[w]) max_v=Voltaje1[w]; //Máximo de la onda de Voltaje1  
        if (min_v > Voltaje1[w]) min_v=Voltaje1[w]; //Mínimo de la onda de Voltaje1  
        if (max_c < Corriente1[w]) max_c=Corriente1[w]; //Máximo de la onda de Corriente1  
        if (min_c > Corriente1[w]) min_c=Corriente1[w]; //Mínimo de la onda de Corriente1  
    }  
    centro_v=(max_v + min_v)/2.0; //Centro de la onda de Voltaje1  
    centro_c=(max_c + min_c)/2.0; //Centro de la onda de Corriente1  
}
```

```
suma[0]=0.0; //Para cálculo de Voltaje1 RMS
suma[1]=0.0; //Para cálculo de Corriente1 RMS
suma[2]=0.0; //Para cálculo de Potencia_P1 y fp1

for(w=0;w<64;w++){ //Calcula el Voltaje1 RMS, Corriente1 RMS y Potencia_F
    Voltaje=(Voltaje1[w]-centro_v);
    Corriente=(Corriente1[w]-centro_c);
    Potencia_P=Voltaje*Corriente;
    Voltaje*=Voltaje/126.0;
    Corriente*=Corriente/126.0;
    Potencia_P/=126.0;
    if ((w==0) | (w==63)){
        suma[0]+=Voltaje;
        suma[1]+=Corriente;
        suma[2]+=Potencia_P;
    }
    else{
        suma[0]+=2.0*Voltaje;
        suma[1]+=2.0*Corriente;
        suma[2]+=2.0*Potencia_P;
    }
}
if (suma[0]<=0.0) suma[0]=0.12345678; //Para no realizar una raíz cuadrada de un número cero o negativo
if (suma[1]<=0.0) suma[1]=0.12345678; //Para no realizar una raíz cuadrada de un número cero o negativo

suma[0]=sqrt(suma[0]);
suma[1]=sqrt(suma[1]);
suma[2]/=(suma[0]*suma[1]); //fp1
suma[0]*=0.179470127; //Tension1 RMS
suma[1]*=0.018537019; //Corrinete1 RMS
//-----
```

Figura 19. Cálculo de la tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia de la fase uno - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

4.3.3. Algoritmo para el Cálculo de la Distorsión Armónica Total de la Tensión y Corriente

El algoritmo para el cálculo de la distorsión armónica total de una onda es el siguiente:

1. Conformar un conjunto complejo de parámetros de entrada mediante la utilización de un array tipo entero de longitud 128 que estará conformado por:
 - Las 64 muestras de la onda a calcular el THD en las posiciones pares, que corresponden a las partes reales.
 - Un cero en las posiciones impares, que corresponden a las partes imaginarias.

Esto se realiza con la finalidad de poder aplicar la función de la Transformada Rápida de Fourier *FFT()* integrada en las librerías del MikroC PRO for dsPIC.

2. Calcular la Transformada Rápida de Fourier $FFT()$ del conjunto de muestras almacenadas en el array de dimensión 128. El resultado será un conjunto complejo de parámetros organizados en forma real, imaginario, real, imaginario,...; donde las partes imaginarias serán diferentes de cero.
3. Aplicar la subrutina $BitReverseComplex()$ al conjunto complejo de parámetros que se obtuvieron al aplicar la subrutina $FFT()$, de manera que los datos queden organizados de forma simétrica, es decir, que la primera mitad (de 0 hasta $n/2$) sea igual a la segunda mitad ($n/2$ hasta n).
4. Calcular las Amplitudes de cada una de las componentes de frecuencia que contiene la muestra mediante la utilización de siguiente ecuación:

$$F[K] = \sqrt{R_e^2[k] + I_m^2[k]}$$

5. Calcular la distorsión armónica total (THD) de la onda aplicando la ecuación (17) descrita en el punto 4.2.2.

El algoritmo descrito anteriormente, se aplica a cada una de las señales de tensión y corriente para así calcular su correspondiente distorsión armónica total. Estos valores calculados son almacenados en un array tipo float distribuidos de la siguiente manera:

- Para la THD tensión de la fase 1: THD[0].
- Para la THD corriente de la fase 1: THD[1].
- Para la THD tensión de la fase 2: THD[2].
- Para la THD corriente de la fase 2: THD[3].
- Para la THD tensión de la fase 3: THD[4].
- Para la THD corriente de la fase 3: THD[5].

A continuación, se presenta el algoritmo para el cálculo de la distorsión armónica total (THD) que será aplicado a cada onda de tensión y corriente respectivamente:

```
//Subrutina que calcula el porcentaje de la Distorsión Armónica de una onda
float Calculos_Distorsion(){
    for(h=0; h<128; h+=2){
        Muestras[h]=Datos_ADC[h/2];
        Muestras[h+1]=0;
    }
    FFT(6, TwiddleCoeff_64, Muestras);
    BitReverseComplex(6, Muestras);
    w=0x00;
    h=0x00;
    while(w<64){
        Re = Muestras[w++];
        Im = Muestras[w++];

        Ref = Fract2Float(Re);
        Imf = Fract2Float(Im);

        Vaux=Ref*Ref;
        Ref=Vaux;
        Vaux=Imf*Imf;
        Imf=Vaux;
        Vaux=sqrt(Ref+Imf);
        Ref=Vaux*256.0;
        Amplitudes[h] = Ref;
        ++h;
    }
    Vaux=0.0;
    for(w=2;w<32;w++) Vaux+=(Amplitudes[w]*Amplitudes[w]);
    Vaux=sqrt(Vaux)/Amplitudes[1];
    Vaux*=100.0;
    return Vaux;
}
```

Figura 20. Cálculo de la distorsión armónica total para cada onda de tensión y corriente - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

4.3.4. Algoritmos de Comunicación entre Microcontroladores

4.3.4.1. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y dsPIC30F4013 Dispositivo Esclavo

El algoritmo de comunicación para la transferencia de un byte entre los microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivos maestro y esclavo es el siguiente:

1. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro carga el nibble más significativo del byte a transferir en sus pines donde se encuentran conectadas las líneas dedicadas para este fin.

2. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro pone en estado lógico bajo su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para el bit de reconocimiento del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo, con la finalidad de indicar al mismo el inicio de la transferencia de un nuevo dato.
3. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro espera que se ponga en estado lógico bajo su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, lo cual indica que el nibble más significativo del byte ha sido transferido y leído exitosamente por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo y que se requiere la transferencia del nibble menos significativo.
4. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo al leer un estado lógico bajo en su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, lee el dato en sus pines dedicados para este fin y lo almacena en el nibble más significativo de una variable.
5. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo pone en estado lógico bajo su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para el bit de reconocimiento del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro, con la finalidad de indicar al mismo que el nibble más significativo del byte ha sido transferido y leído exitosamente y que se requiere la transferencia del nibble menos significativo.
6. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo espera que se ponga en estado lógico alto su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, lo cual indica que el nibble menos significativo del byte está listo a ser transferido por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.
7. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro al leer un estado lógico bajo en su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, carga el nibble menos significativo del

byte a transferir en sus pines donde se encuentran conectadas las líneas dedicadas para este fin.

8. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro pone en estado lógico alto su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para el bit de reconocimiento del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo, con la finalidad de indicar al mismo el inicio de la transferencia de un nuevo dato.
9. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro espera que se ponga en estado lógico alto su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, lo cual indica que el nibble menos significativo del byte ha sido transferido y leído por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo y con ello el byte se ha transferido exitosamente.
10. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo al leer un estado lógico alto en su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para su bit de reconocimiento, lee el dato en sus pines dedicados para este fin y lo almacena en el nibble menos significativo de la variable antes definida.
11. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo pone en estado lógico alto su pin donde se encuentra conectada la línea establecida para el bit de reconocimiento del microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro, con la finalidad de indicar al mismo que el nibble menos significativo del byte ha sido transferido y leído, y con ello el byte ha sido transferido exitosamente.

El algoritmo explicado anteriormente, es el que se utilizará para transferir los datos de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; calculados por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro al microcontrolador

dsPIC30F4013 dispositivo esclavo, con el propósito de que el mismo almacene esta información la memoria micro SD.

Se debe de tener en cuenta que este algoritmo realiza transmisiones de datos de 4 bits en 4 bits y requiere que ambos microcontroladores estén operativos.

A continuación, se presenta la secuencia de comunicación entre los microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivos maestro y esclavo al transferirse un dato:

```
LATB.B9=display[b].B4;           //Maestro carga dato del nibbel mas significativo a enviar al Esclavo
LATB.B10=display[b].B5;
LATB.B11=display[b].B6;
LATB.B12=display[b].B7;

M_inicia();                       //Maestro envia un 0 al Esclavo (dato listo para ser trasmitido)
while(PORTD.B0==1) asm nop;       //Maestro espera que el Esclavo ahiga leído el dato(Esclavo envíe un 0)
LATB.B9=display[b].B0;           //Maestro carga dato del nibbel menos significativo a enviar al Esclavo
LATB.B10=display[b].B1;
LATB.B11=display[b].B2;
LATB.B12=display[b].B3;

M_reconocimiento();              //Maestro envia un 1 al Esclavo (dato listo para ser trasmitido)
while(PORTD.B0==0) asm nop;       //Maestro espera que el Esclavo ahiga leído el dato(Esclavo envíe un 1)
```

Figura 21. Secuencia de Comunicación - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.

```
while(PORTD.B8==1) asm nop;       //Esclavo espera que el Maestro indique la transmision del dato(Maestro envíe un 0)
  DatosGrabar[c]=(PORTB>>5)&0XF0; //Esclavo realiza la lectura del nibble alto del dato
E_inicia();                       //Esclavo envia un 0 al Maestro (Dato ha sido leído e inicio de una nueva trasferencia de datos)
while(PORTD.B8==0) asm nop;       //Esclavo espera que el Maestro indique la transmision del dato(Esclavo envíe un 1)
  DatosGrabar[c]=DatosGrabar[c]|((PORTB>>9)&0X0F); //Esclavo realiza la lectura del dato
E_reconocimiento();              //Esclavo envia un 1 al Maestro (Dato ha sido leído e inicio de una nueva trasferencia de datos)
```

Figura 22. Secuencia de Comunicación - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.

4.3.4.2. dsPIC30F4013 Dispositivo Maestro y PIC16F887

El algoritmo de comunicación para transferir el dato entre los microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivo maestro y PIC16F887 para la activación o desactivación de cada uno de los condensadores del banco se realiza directamente. Se debe tener en cuenta que solo es necesario transferir el nibble menos significativo del dato, ya que con ello se podrá hacer el control completo del banco de condensadores.

El algoritmo para la transferencia del dato entre microcontroladores es el siguiente:

1. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro calcula el dato a ser transferido al PIC16F887 para la activación o desactivación del banco de condensadores.
2. El microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro carga el nibble menos significativo del dato a ser transferido en sus pines donde se encuentran conectadas las líneas establecidas para este fin.
3. El microcontrolador PIC16F887 lee el dato transmitido por el dsPIC en sus pines donde se encuentran conectadas las líneas para este fin, para luego activar o desactivar cada uno de los condensadores que conforman el banco.

El algoritmo descrito anteriormente, lo realiza el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro cada segundo.

4.3.5. Algoritmo para la Creación de Archivos de Datos y Formato de Presentación

Los archivos de datos contienen los valores calculados de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de la tensión y corriente de un sistema eléctrico residencial al cual se encuentra conectado el prototipo.

Además de contener los valores de los parámetros eléctricos anteriormente mencionados, incluyen la información de la hora, minuto y segundo al cual fueron almacenados los mismos.

Los archivos de datos son grabados en la memoria micro SD y se generan considerando lo siguiente:

- Cada momento que se requiera una nueva obtención de información de los parámetros eléctricos de una red residencial.
- Cada nuevo día (paso por las 00H00) mientras el prototipo se encuentre registrando la información de los parámetros eléctricos de una red residencial.

El algoritmo para la creación de archivos de datos es el siguiente:

1. Esperar que el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo de la señal para la creación de un nuevo archivo de datos, o que se registre un paso por las 00H00 mientras el prototipo se encuentre registrando la información.
2. Configurar el módulo de comunicación SPI a baja velocidad para el ingreso y lectura de la memoria micro SD.
3. Testear que la memoria micro SD este ingresada correctamente en el prototipo.
4. Iniciar la memoria micro SD utilizando la librería *Mmc_Fat_Init()*.
5. Configurar el módulo de comunicación SPI a alta velocidad para que la memoria micro SD trabaje a la máxima velocidad permitida por el microcontrolador, para el correspondiente registro de datos.
6. Crear el nuevo archivo de datos tipo texto colocando su nombre de la siguiente manera:

MM_DD_ND.txt

Dónde:

MM = Mes en el que se creo el archivo de datos.

DD = Dia en el que se creo el archivo de datos.

$ND = \text{Número del archivo dentro del mismo día.}$

7. Imprimir en la primera fila del archivo de datos el encabezado, que definirá el formato de presentación del mismo. Estará compuesto por el siguiente texto:

HORA V1(V) I1(A) fp1 V2(V) I2(A) fp2 V3(V) I3(A) fp3 THDV1 THDI1 THDV2 THDI2 THDV3 THDI3

A continuación, se presenta las subrutinas utilizadas para la lectura de la micro SD y creación de un nuevo archivo de datos en la misma:

```
//Subrutina para leer la tarjeta microSD y crear un nuevo Archivo de datos al iniciar el guardado de datos en el programa principal
void Detectar_SD(){
//Configuración del módulo de comunicación SPI para la tarjeta microSD a baja velocidad
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER, _SPI_8_BIT, _SPI_PRESCALE_SEC_1, _SPI_PRESCALE_PRI_64, _SPI_SS_DISABLE,
                   _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE, _SPI_CLK_IDLE_HIGH, _SPI_ACTIVE_2_IDLE);

Delay_us(10); //Delay por configuración
Mmc_Init(); //Iniciamos la SD
delay_us(10); //Retraso por configuración para la lectura de la microSD
while (Mmc_Init()){ //Bucle si no Arranca la SD
    Lcd_Out(1,1," Ingrese "); //Mensaje cuando no se ha ingresado la microSD en LCD
    Lcd_Out(2,1," microSD ");
    delay_ms(1000); //Muestra mensaje 1 segundo en el LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Borra el LCD
    delay_ms(1000); //Borra el LCD 1 segundo
}
Lcd_Out(1,1," microSD "); //Mensaje de ingreso de microSD en LCD
Lcd_Out(2,1," Ingresada ");
delay_ms(1500); //Delay para mostrar el mensaje en LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Borramos el LCD
LATF.B4=1; //Led prendido cuando la SD arrancado

Mmc_Fat_Init(); //Inicio del Mmc fat
//Nueva configuración módulo de comunicación SPI para la tarjeta microSD para mayor velocidad
//Cambio del preescalador primario de 4 a 64
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER, _SPI_8_BIT, _SPI_PRESCALE_SEC_1, _SPI_PRESCALE_PRI_4, _SPI_SS_DISABLE,
                   _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE, _SPI_CLK_IDLE_HIGH, _SPI_ACTIVE_2_IDLE);
Delay_us(10); //Delay por configuración
Creacion_Archivo(); //Subrutina que crea un Archivo en microSD para guardar los datos
}
```

Figura 23. Lectura de la memoria micro SD - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.

```
//-----
//Subrutina para creación de archivo para almacenamiento de los datos en microSD
void Creacion_Archivo(){
    if (respaldo_dia!=RDia){
        aux_arch=0x01;
        respaldo_dia=RDia;
    }
    NombreArchivo[0]=(RMes>>4)&0x0F+48;
    NombreArchivo[1]=(RMes&0x0F)+48;
    NombreArchivo[3]=(RDia>>4)&0x0F+48;
    NombreArchivo[4]=(RDia&0x0F)+48;
    d_aux=aux_arch/10;
    u_aux=aux_arch-d_aux*10;
    NombreArchivo[6]=d_aux+48;
    NombreArchivo[7]=u_aux+48;

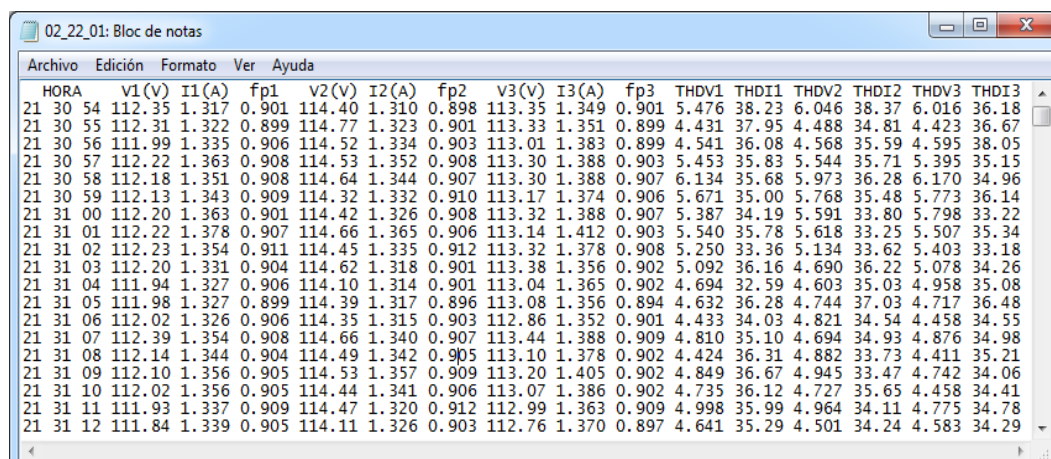
    Mmc_Fat_Assign(&NombreArchivo,0xA0); //Crea un archivo de datos en microSD
    Mmc_Fat_Append(); //Dirige para escribir en nueva línea al final del texto guardado
    Mmc_Fat_Write(" HORA V1(V) I1(A) fp1 V2(V) I2(A) fp2 V3(V) I3(A) fp3 THDV1 THDI1 THDV2 THDI2 THDV3 THDI3\r\n",103);
}
```

Figura 24. Creación del archivo de datos en la memoria micro SD - Microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.

El formato de presentación de los datos está definido de la siguiente manera:

- *Columna 1:* Hora de grabación de los datos.
- *Columna 2:* Minuto de grabación de los datos.
- *Columna 3:* Segundos de grabación de los datos.
- *Columna 4:* Datos de tensiones RMS de la fase 1.
- *Columna 5:* Datos de corrientes RMS de la fase 1.
- *Columna 6:* Datos de factores de potencia de la fase 1.
- *Columna 7:* Datos de tensiones RMS de la fase 2.
- *Columna 8:* Datos de corrientes RMS de la fase 2.
- *Columna 9:* Datos de factores de potencia de la fase 2.
- *Columna 10:* Datos de tensiones RMS de la fase 3.
- *Columna 11:* Datos de corrientes RMS de la fase 3.
- *Columna 12:* Datos de factores de potencia de la fase 3.
- *Columna 13:* Datos de THD de las tensiones de la fase 1.
- *Columna 14:* Datos de THD de las corrientes de la fase 1.
- *Columna 15:* Datos de THD de las tensiones de la fase 2.
- *Columna 16:* Datos de THD de las corrientes de la fase 2.
- *Columna 17:* Datos de THD de las tensiones de la fase 3.
- *Columna 18:* Datos de THD de las corrientes de la fase 3.

A continuación, se muestra una imagen con datos grabados en la memoria micro SD de una prueba:



HORA	V1(V)	I1(A)	fp1	V2(V)	I2(A)	fp2	V3(V)	I3(A)	fp3	THDV1	THDI1	THDV2	THDI2	THDV3	THDI3	THDV4
21 30 54	112.35	1.317	0.901	114.40	1.310	0.898	113.35	1.349	0.901	5.476	38.23	6.046	38.37	6.016	36.18	
21 30 55	112.31	1.322	0.899	114.77	1.323	0.901	113.33	1.351	0.899	4.431	37.95	4.488	34.81	4.423	36.67	
21 30 56	111.99	1.335	0.906	114.52	1.334	0.903	113.01	1.383	0.899	4.541	36.08	4.568	35.59	4.595	38.05	
21 30 57	112.22	1.363	0.908	114.53	1.352	0.908	113.30	1.388	0.903	5.453	35.83	5.544	35.71	5.395	35.15	
21 30 58	112.18	1.351	0.908	114.64	1.344	0.907	113.30	1.388	0.907	6.134	35.68	5.973	36.28	6.170	34.96	
21 30 59	112.13	1.343	0.909	114.32	1.332	0.910	113.17	1.374	0.906	5.671	35.00	5.768	35.48	5.773	36.14	
21 31 00	112.20	1.363	0.901	114.42	1.326	0.908	113.32	1.388	0.907	5.387	34.19	5.591	33.80	5.798	33.22	
21 31 01	112.22	1.378	0.907	114.66	1.365	0.906	113.14	1.412	0.903	5.540	35.78	5.618	33.25	5.507	35.34	
21 31 02	112.23	1.354	0.911	114.45	1.335	0.912	113.32	1.378	0.908	5.250	33.36	5.134	33.62	5.403	33.18	
21 31 03	112.20	1.331	0.904	114.62	1.318	0.901	113.38	1.356	0.902	5.092	36.16	4.690	36.22	5.078	34.26	
21 31 04	111.94	1.327	0.906	114.10	1.314	0.901	113.04	1.365	0.902	4.694	32.59	4.603	35.03	4.958	35.08	
21 31 05	111.98	1.327	0.899	114.39	1.317	0.896	113.08	1.356	0.894	4.632	36.28	4.744	37.03	4.717	36.48	
21 31 06	112.02	1.326	0.906	114.35	1.315	0.903	112.86	1.352	0.901	4.433	34.03	4.821	34.54	4.458	34.55	
21 31 07	112.39	1.354	0.908	114.66	1.340	0.907	113.44	1.388	0.909	4.810	35.10	4.694	34.93	4.876	34.98	
21 31 08	112.14	1.344	0.904	114.49	1.342	0.905	113.10	1.378	0.902	4.424	36.31	4.882	33.73	4.411	35.21	
21 31 09	112.10	1.356	0.905	114.53	1.357	0.909	113.20	1.405	0.902	4.849	36.67	4.945	33.47	4.742	34.06	
21 31 10	112.02	1.356	0.905	114.44	1.341	0.906	113.07	1.386	0.902	4.735	36.12	4.727	35.65	4.458	34.41	
21 31 11	111.93	1.337	0.909	114.47	1.320	0.912	112.99	1.363	0.909	4.998	35.99	4.964	34.11	4.775	34.78	
21 31 12	111.84	1.339	0.905	114.11	1.326	0.903	112.76	1.370	0.897	4.641	35.29	4.501	34.24	4.583	34.29	

Figura 25. Archivo .txt con datos obtenidos en una prueba.

4.3.6. Algoritmo para el Comando del Banco de Condensadores

Para el comando del banco de condensadores se debe de tomar en consideración lo siguiente:

- Array de muestras de la onda de tensión de la fase 1.
- Array de muestras de la onda de corriente de la fase 1.
- Factor de potencia de la fase 1.

Los arrays de muestras de la onda tanto de tensión como de corriente serán utilizados para calcular el cruce por cero de las mismas, con la finalidad de conocer si la señal de tensión se encuentra adelantada de la señal de corriente o viceversa. Mediante esta información y el factor de potencia, se procede a activar o desactivar cada uno de los condensadores que conforman el banco, con el propósito de mantener dicho factor en un nivel óptimo (mayor a 0.95). Esta operación es realizada por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro cada segundo.

Para detectar el cruce por cero de una onda ya sea de tensión o corriente, se debe:

- Identificar el valor máximo y su posición del conjunto de valores del array de la onda.
- Identificar el valor mínimo y su posición del conjunto de valores del array de la onda.
- Calcular el centro de la onda, aplicando la ecuación:

$$\text{centro onda} = \frac{\text{valor maximo} - \text{valor minimo}}{2}$$

- Identificar en la onda si la posición del valor máximo se encuentra antes o después que la posición del valor mínimo. Esto se efectúa con el propósito de conocer si el cruce por cero de la onda se lo realiza desde el punto máximo hacia el punto mínimo o viceversa.
- Si en la onda, la posición del valor máximo se encuentra antes que la posición del valor mínimo, se procede a calcular la posición de su centro incrementando la posición del valor máximo hasta que la magnitud de la onda en esta posición restada de la magnitud del valor de su centro sea menor o igual a cero. La posición donde se cumpla lo dicho anteriormente, será la posición del cruce por cero de la onda para este caso.
- Si en la onda, la posición del valor mínimo se encuentra antes que la posición del valor máximo, se procede a calcular la posición de su centro incrementando la posición del valor mínimo hasta que la magnitud del valor de su centro restada de la magnitud de la onda en esta posición sea menor o igual a cero. La posición donde se cumpla lo dicho anteriormente, será la posición del cruce por cero de la onda para este caso.

El algoritmo para el comando del banco de condensadores en un sistema eléctrico residencial es el siguiente:

1. Detección del cruce por cero de la onda de tensión de la fase 1, aplicando los pasos descritos anteriormente.
2. Detección del cruce por cero de la onda de corriente de la fase 1, aplicando los pasos descritos anteriormente.
3. Si la posición del centro de onda de tensión es menor que la posición del centro de onda de corriente, se tiene que la señal de tensión adelanta a

la señal de corriente, y por lo tanto, si se tuviera un factor de potencia menor a 0.95 se procederá a inyectar un condensador al sistema.

4. Si la posición del centro de onda de corriente es menor que la posición del centro de onda de tensión, se tiene que la señal de corriente adelanta a la señal de tensión, y por lo tanto, si se tuviera un factor de potencia menor a 0.95 se procederá a desconectar un condensador al sistema.

Cada vez que se encienda el prototipo se realizará los pasos expuestos anteriormente, con la finalidad de llevar al factor de potencia a un nivel óptimo (mayor a 0.95). Luego que se ha estabilizado la activación o desactivación de cada uno de los condensadores que conforman el banco, se espera que exista un cambio de corriente mayor a 0,5 A para repetir el procedimiento.

A continuación, se presenta la secuencia utilizada para la localización de los puntos: máximo, centro y mínimo; de la onda tanto de tensión como de corriente, así como la subrutina para el cálculo de la activación o desactivación de cada uno de los condensadores que conforman el banco:

```
max_v=Voltaje1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Voltaje1
min_v=Voltaje1[0]; //Inicio de identificación del min de la onda de Voltaje1
max_c=Corriente1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Corriente1
min_c=Corriente1[0]; //Inicio de identificación del max de la onda de Corriente1
pos_max_v=0; //Inicio de identificación de la posición del max de la onda de Voltaje1
pos_min_v=0; //Inicio de identificación de la posición del min de la onda de Voltaje1
pos_max_c=0; //Inicio de identificación de la posición del max de la onda de Corriente1
pos_min_c=0; //Inicio de identificación de la posición del min de la onda de Corriente1

for (w=1;w<64;w++){
    if (max_v < Voltaje1[w]){
        max_v=Voltaje1[w]; //Máximo de la onda de Voltaje1
        pos_max_v=w; //Posición del máximo de la onda de Voltaje1
    }
    if (min_v > Voltaje1[w]){
        min_v=Voltaje1[w]; //Mínimo de la onda de Voltaje1
        pos_min_v=w; //Posición del mínimo de la onda de Voltaje1
    }
    if (max_c < Corriente1[w]){
        max_c=Corriente1[w]; //Máximo de la onda de Corriente1
        pos_max_c=w; //Posición del máximo de la onda de Corriente1
    }
    if (min_c > Corriente1[w]){
        min_c=Corriente1[w]; //Mínimo de la onda de Corriente1
        pos_min_c=w; //Posición del mínimo de la onda de Corriente1
    }
}
centro_v=(max_v + min_v)/2.0; //Centro de la onda de Voltaje1
centro_v_aux=centro_v; //Respaldo del centro de la onda de Voltaje1
centro_c=(max_c + min_c)/2.0; //Centro de la onda de Corriente1
centro_c_aux=centro_c; //Respaldo del centro de la onda de Corriente1
```

Figura 26. Localización de los puntos: máximo, centro y mínimo de la onda tanto de tensión como de corriente de la fase 1.

```
//Subrutina que calcula los datos para la activación o desactivación del banco de condensadores
void Datos_banco_PIC(){
    //Cruze por cero de la onda de tensión
    if (pos_max_v < pos_min_v){ //Caso 1: Encontramos el cruce por cero de la onda de tension desde el máximo al mínimo
        reactivos=(Voltaje[pos_max_v]-centro_v_aux); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        while(reactivos > 0.0){ //Hace hasta que la onda de tensión cruce por cero
            pos_max_v+=1; //Siguiente posición
            reactivos=(Voltaje[pos_max_v]-centro_v_aux); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        }
        cruce_tension=pos_max_v; //Posición del cruce por cero de la onda de tensión
    }
    else{ //Caso 2: Encontramos el cruce por cero de la onda de tension desde el mínimo al máximo
        reactivos=(centro_v_aux-Voltaje[pos_min_v]); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        while(reactivos > 0.0){ //Hace hasta que la onda de tensión cruce por cero
            pos_min_v+=1; //Siguiente posición
            reactivos=(centro_v_aux-Voltaje[pos_min_v]); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        }
        cruce_tension=pos_min_v; //Posición del cruce por cero de la onda de tensión
    }
    //Cruce por cero de la onda de corriente
    if (pos_max_c < pos_min_c){ //Caso 1: Encontramos el cruce por cero de la onda de corriente desde el máximo al mínimo
        reactivos=(Corriente[pos_max_c]-centro_c_aux); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        while(reactivos > 0.0){ //Hace hasta que la onda de corriente cruce por cero
            pos_max_c+=1; //Siguiente posición
            reactivos=(Corriente[pos_max_c]-centro_c_aux); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        }
        cruce_corriente=pos_max_c; //Posición del cruce por cero de la onda de corriente
    }
    else{ //Caso 2: Encontramos el cruce por cero de la onda de corriente desde el mínimo al máximo
        reactivos=(centro_c_aux-Corriente[pos_min_c]); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        while(reactivos > 0.0){ //Hace hasta que la onda de corriente cruce por cero
            pos_min_c+=1; //Siguiente posición
            reactivos=(centro_c_aux-Corriente[pos_min_c]); //Calculamos el valor de la onda en este punto
        }
        cruce_corriente=pos_min_c; //Posición del cruce por cero de la onda de corriente
    }
    if (cruce_tension < cruce_corriente) dato_banco++; //Si onda de tensión adelanta a onda de corriente, se inyecta un capacitor
    else dato_banco--; //Si onda de corriente adelanta a onda de tensión, se retira un capacitor
}
```

Figura 27. Activación o desactivación de cada uno de los condensadores que conforman el banco.

4.3.7. Subrutinas Varias y Librerías Adicionales Desarrolladas

Las subrutinas desarrolladas para este proyecto son:

- **Librería I²C.**- Esta librería es la encargada de implementar el protocolo de comunicación I²C entre el reloj a tiempo real DS1307 y el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo.
- **Librería DS1307.**- Esta librería permite al microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo esclavo realizar la lectura o escritura de los datos de horas, minutos, segundos, día semana, día, mes y año disponibles en el reloj a tiempo real DS1307 mediante la utilización de la

librería I²C. Además, posee subrutinas para la conversión de datos de Bcd a Short y Short a Bcd.

- *Librería mostrar fecha y hora en LCD e igualar reloj sistema.-* Esta librería se encarga de mostrar en el display LCD los datos obtenidos del DS1307 tales como horas, minutos, segundos, día, mes y año con la finalidad de obtener una referencia de tiempo a la cual está operando el prototipo. Además, esta librería permite configurar cada uno de los datos citados anteriormente para ajustarlos a la hora requerida por el usuario.
- *Librería chequear operación que realizara dsPIC.-* Esta librería será la encargada de ejecutar la operación que realizará el prototipo. Estas operaciones son: START, STOP o IGUALAR RELOJ.
- *Librería calculo tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia.-* Esta librería será la encargada de calcular los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia.
- *Librería calculo THD y reconfiguración de datos calculados.-* Esta librería cumple con la función de calcular la distorsión armónica total de las ondas de tensión y de corriente. Además, posee una subrutina para la reconfiguración de los datos de tensión RMS, corriente RMS y factor de potencia para el correcto almacenamiento de los mismos en la memoria micro SD cuando estos son inferiores a los límites propuestos.
- *Librería comunicación 4 bits entre dsPIC esclavo y el dsPIC maestro.-* Esta librería se encargara de realizar una comunicación de 4 bits en 4 bits entre los microcontroladores dsPIC30F4013 dispositivos esclavo y maestro, con la finalidad de transferir los datos de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de la tensión y corriente calculados por el dispositivo maestro al dispositivo esclavo para el almacenamiento de los mismo en una memoria micro SD.

- *Librería crear archivo en memoria micro SD y cerrar la misma.*- Esta librería cumple con la función de verificar el ingreso y correcto inicio de la memoria micro SD en el prototipo. Luego de ello, crea un archivo de datos en la misma para el guardado de la información eléctrica calculada por el dsPIC30F4013 dispositivo maestro. Además, cuenta con una subrutina para la creación de un nuevo archivo de datos adicional en cada nuevo día (paso por 00H00) que se esté almacenando la información de la red eléctrica, y otra subrutina para cerrar el archivo de datos en la memoria micro SD y con ello poder extraer la misma del prototipo en forma segura.
- *Librería grabar parámetros eléctricos en memoria micro SD.*- Librería que se encargara de guardar los datos horas, minutos, segundos, tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia, distorsión armónica total de tensión y de corriente en una memoria micro SD.
- *Librería mostrar parámetros eléctricos en Sistema Android.*- Librería que cumple con la función de transferir los datos almacenados en la memoria micro SD a un dispositivo con Sistema Operativo Android mediante comunicación bluetooth, con la finalidad de monitorear periódicamente los datos almacenados en ésta a tiempo real.
- *Librería comunicación 2 bits entre dsPIC maestro y PIC16F887.*- Librería encargada de transferir los datos calculados por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro al PIC16F887 para la activación o desactivación del banco de condensadores.

4.4. Monitoreo de Parámetros Eléctricos Utilizando un Dispositivo con Sistema Operativo Android

Con la finalidad de poder monitorear el buen funcionamiento del prototipo, se utilizará un dispositivo con Sistema Operativo Android, que puede ser un

Smartphone o una Tablet, el cual se comunicará con el prototipo por medio de un dispositivo bluetooth.

Se podrá observar a tiempo real en la pantalla del dispositivo con Sistema Operativo Android como varían periódicamente los parámetros eléctricos de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de tensión y corriente de un sistema eléctrico residencial al cual se encuentre conectado el prototipo.

Además, con esto será posible comparar las mediciones que realizara el prototipo con mediciones tomadas con instrumentos profesionales y de esta manera verificar la precisión de la medición y realizar calibraciones si son necesarias.

Es necesario realizar una aplicación para el dispositivo con Sistema Operativo Android, para esto se utilizará la plataforma de desarrollo App Inventor.

4.4.1. Plataforma de Desarrollo App Inventor

App Inventor es una plataforma de Google Labs que permite crear aplicaciones de software para el Sistema Operativo Android. Las aplicaciones se realizan de forma visual partiendo de un conjunto de herramientas básicas que se pueden ir enlazando una con otra en forma de bloques. Esto hace que crear aplicaciones con App Inventor sea fácil y accesible para cualquier persona con conocimientos básicos de programación.

En el siguiente punto, se describe la aplicación creada en esta plataforma de desarrollo para realizar el monitoreo del prototipo mediante un dispositivo con Sistema Operativo Android de forma inalámbrica.

4.4.2. Aplicación para Comunicación con Dispositivo Bluetooth HC-06

Para desarrollar la aplicación de comunicación del prototipo con un dispositivo con Sistema Operativo Android mediante la utilización de un dispositivo bluetooth HC-06, hay que dirigirse a la página web de App Inventor (<http://ai2.appinventor.mit.edu>), donde es necesario tener una cuenta de Google para poder iniciar sesión en dicha página.

Las herramientas principales que deben arrastrarse desde la paleta de elementos para la creación de la aplicación son:

- Cliente Bluetooth.
- Servidor Bluetooth.
- Reloj Temporizador.
- Botones.
- Cuadros de Texto.

Estas herramientas se configuran en la ventana de diseño del App Inventor de la forma como se espera que se vean en la pantalla. La configuración final de la pantalla de la aplicación para este proyecto se muestra a continuación:



Figura 28. Pantalla para monitoreo de los parámetros eléctricos en dispositivo con Sistema Operativo Android.

Una vez realizada esta configuración, se procede a cambiar a la ventana de bloques donde se realiza la programación de la aplicación.

Lo primero que se debe realizar en la ventana de bloques es:

- Arrastrar los bloques necesarios para definir las variables que se utilizarán.
- Arrastrar los bloques para establecer las condiciones de inicio de la aplicación.

A continuación, se muestran los bloques conectados según lo dicho anteriormente:

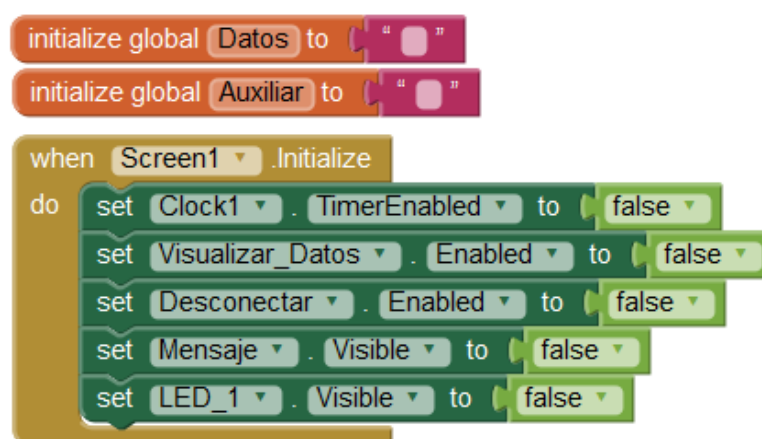


Figura 29. Bloques de configuraciones iniciales de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

Los bloques anteriores indican que:

- Se inicializan dos variables denominada “Datos” y “Auxiliar” a las cuales se asigna el carácter de espacio “ ” como valor inicial.
- El elemento Clock1 correspondiente al reloj temporizador y no se encuentra inicializado.

- Los botones Visualizar_Datos y Desconectar se encuentran desactivados cuando se inicia la aplicación.
- El mensaje de guardado de datos y su indicador correspondiente (LED_1) se encuentran desactivados.

El siguiente paso es configurar las acciones a llevar a cabo cuando se presione el botón “Conectar Bluetooth”. La conexión de los bloques para esta configuración se muestra a continuación:

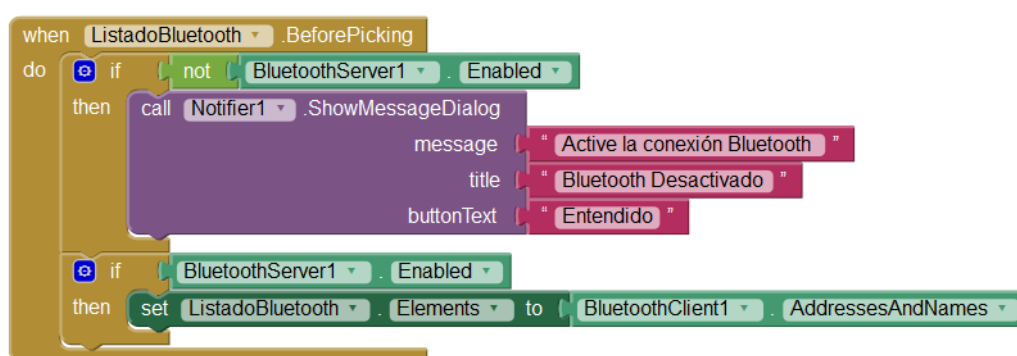


Figura 30. Bloques del menú de conexión bluetooth de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

La configuración de bloques anterior indica que cuando se presiona el botón “Conectar Bluetooth” se realiza un testeo para verificar si la conexión bluetooth del dispositivo con Sistema Operativo Android (Smartphone o Tablet) se encuentra activada, caso contrario muestra un mensaje indicando que se active dicha conexión.

Si la conexión bluetooth del dispositivo Android se encuentra activada, se desplegará una lista con todos los dispositivos bluetooth enlazados al mismo, donde se deberá elegir el dispositivo HC-06 correspondiente al módulo bluetooth del prototipo. Una vez realizado esto, quedara establecida la conexión entre el dispositivo Android (Smartphone o Tablet) y el prototipo.

Es necesario definir las acciones a llevar a cabo luego de haber seleccionado el elemento HC-06 del listado bluetooth. Estas acciones se definen en los bloques a continuación.

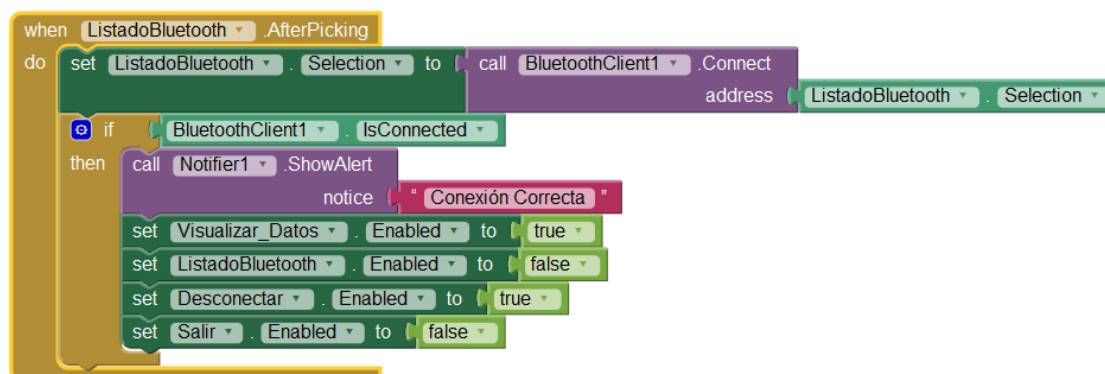


Figura 31. Bloques de conexión exitosa del módulo bluetooth en la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

El diagrama de bloque anterior ejecuta las siguientes acciones:

- Mostrar un mensaje que indica la conexión exitosa entre el módulo bluetooth y el dispositivo Android.
- Habilita el botón “Visualizar Datos”.
- Deshabilita el botón “Desconectar Bluetooth”.
- Deshabilita el botón “Salir de la Aplicación”.

A continuación, se muestra el diagrama de bloque que ejecuta el botón “Visualizar Datos” cuando es presionado.

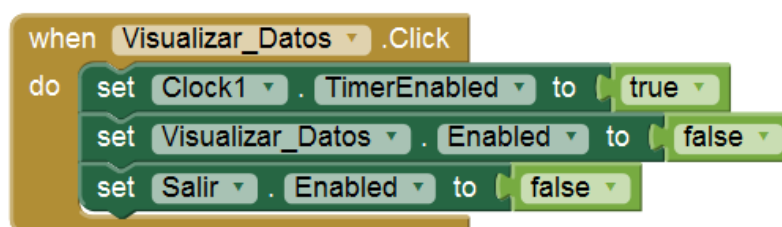


Figura 32. Bloques del botón de visualización de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

Éste diagrama de bloques anterior lleva a cabo lo siguiente:

- Habilita el reloj temporizador “Clock1” de la aplicación.
- Deshabilita el botón “Visualizar Datos”.
- Deshabilita el botón “Salir de la Aplicación”.

Luego de haber presionado el botón “Visualizar Datos” en la aplicación, el dispositivo Android envía el carácter “A” al microcontrolador y este al recibirlo envía una cadena de caracteres que contiene la información de los parámetros eléctricos calculados por el mismo. Esta cadena de caracteres es recibida por el dispositivo Android y almacenada en la variable “Datos” (que tiene 91 bytes de extensión) para luego proceder a separarla y colocar cada parte de la cadena en los cuadros de texto correspondientes, de manera que se muestre la información de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de la tensión y corriente según como se ordenó la matriz de cuadros de texto en la pantalla principal. Además, se mostrará en la pantalla de la aplicación un mensaje que indique si el prototipo se encuentra almacenando o no la información de los parámetros eléctricos en la memoria micro SD.

A continuación se muestra una parte de los bloques que ejecutan la impresión de los parámetros eléctricos en la pantalla del dispositivo Android llevada a cabo dentro de la rutina del temporizador.

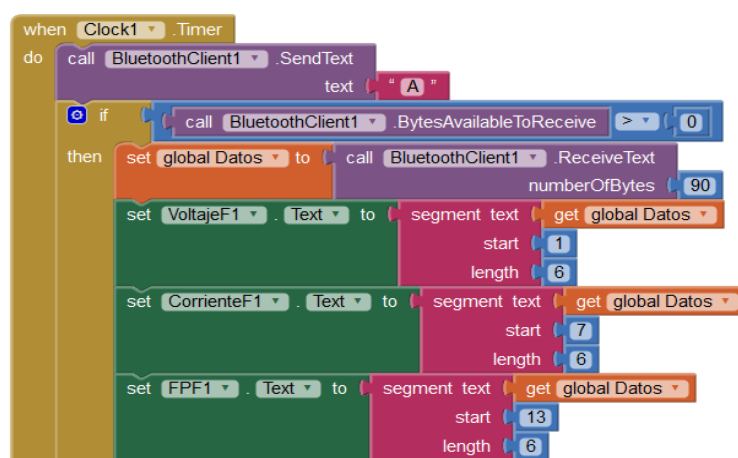


Figura 33. Bloques de escritura de parámetros eléctricos en la pantalla de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

Los bloques que definen las acciones a seguir cuando se presionan las teclas “Desconectar” y “Salir de la Aplicación” se muestran a continuación:

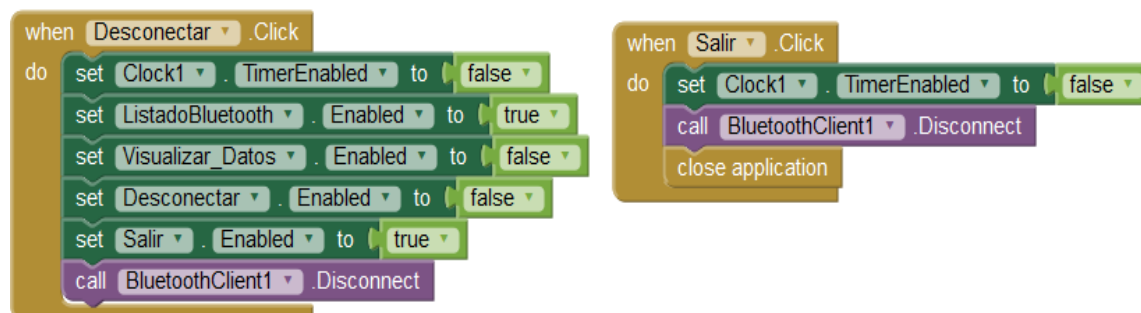


Figura 34. Bloques de los botones de desconexión y salir de la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

Es necesario establecer los mensajes y las acciones a llevar a cabo cuando se produce algún error durante la ejecución de la aplicación. Los bloques que llevan a cabo las acciones antes mencionadas se muestran a continuación:

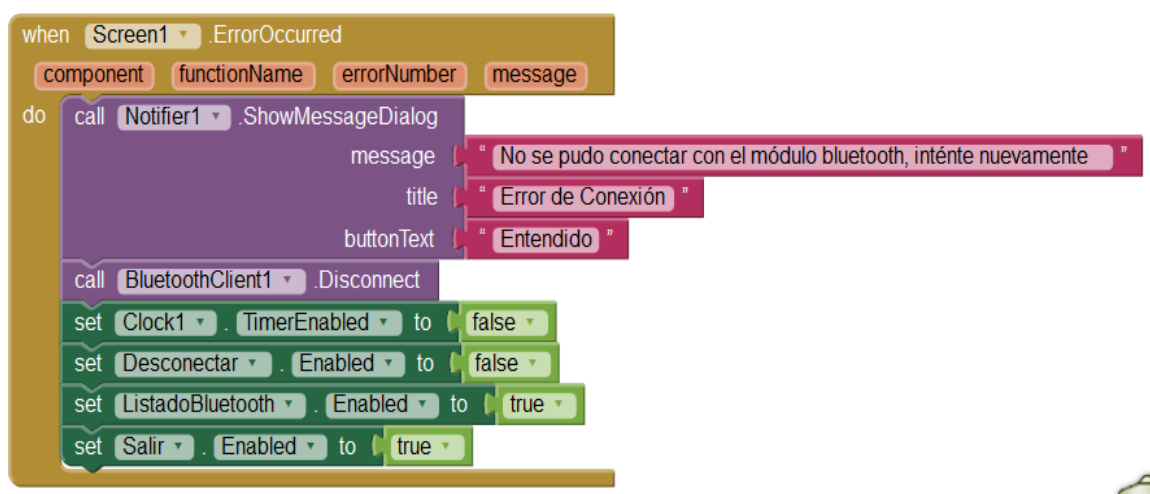


Figura 35. Bloques de configuración de mensajes de error en la aplicación para dispositivo con Sistema Operativo Android.

Finalmente, se muestra una imagen con la visualización de los parámetros eléctricos adquiridos por el microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro de una red eléctrica residencial:



Figura 36. Visualización de los Parámetros eléctricos en dispositivo con Sistema Operativo Android.

CAPÍTULO 5

5. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1. Pruebas de Funcionamiento General del Sistema

Las pruebas de funcionamiento general del sistema incluyen:

- Pruebas de los sensores de tensión y corriente.
- Verificación del correcto funcionamiento del banco de condensadores.

Estas pruebas permitirán asegurar tanto el buen funcionamiento de los componentes que conforman el prototipo así como los datos proporcionados por el mismo.

5.1.1. Prueba de Sensores

Las pruebas de cada uno de los sensores tanto de tensión como de corriente se realizan con el propósito de comprobar el correcto funcionamiento de los mismos dentro del prototipo, dado que estos son los encargados de proporcionar las señales de las ondas de tensión y corriente que serán utilizadas para calcular los parámetros eléctricos del sistema residencial al cual se encuentre conectado el prototipo.

Las pruebas y ajustes de los sensores de tensión y corriente se realizarán empleando instrumentos de medición tales como: PROSKYT DIGITAL MULTIMETER 3PK-345, FLUKE 76 TRUE RMS MULTIMETER y Osciloscopio TDS 210; proporcionados por el Laboratorio de Maquinas Eléctricas de la Universidad de Cuenca.

5.1.1.1. Sensores de Tensión

Los pasos a seguir para verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los sensores de tensión, son los siguientes:

- Se aplica una señal de tensión alterna en la entrada del sensor y se la captura usando el Osciloscopio TDS 210.
- Mediante el Osciloscopio TDS 210 se captura la señal de tensión de salida del sensor, dicha señal es la que entrara al microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.
- Se verifica mediante las formulas desarrolladas en el Anexo 1, que el sensor de tensión se encuentre trabajando correctamente.
- Además, se verificará que la señal de tensión de salida del sensor sea proporcional a su señal de tensión de entrada.

A continuación, se verificará el correcto funcionamiento de cada sensor de tensión:

- *Sensor de tensión de la fase 1:* Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes:

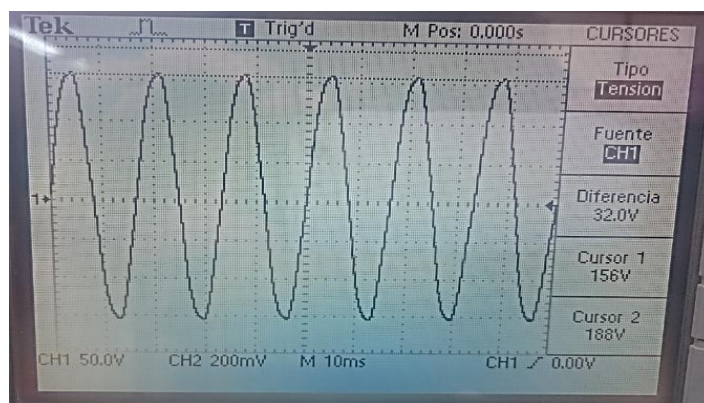


Figura 37. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 1 - Valor del pico de la señal.

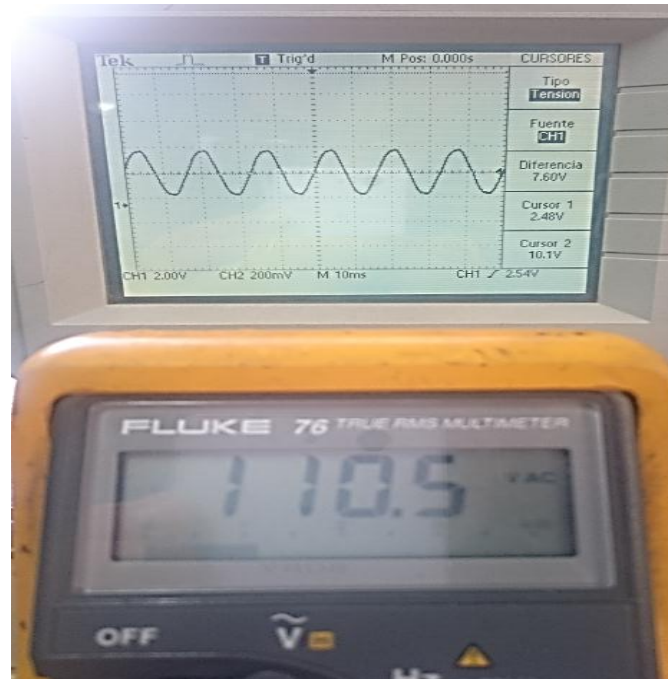


Figura 38. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 1 - Valor del centro de la señal.

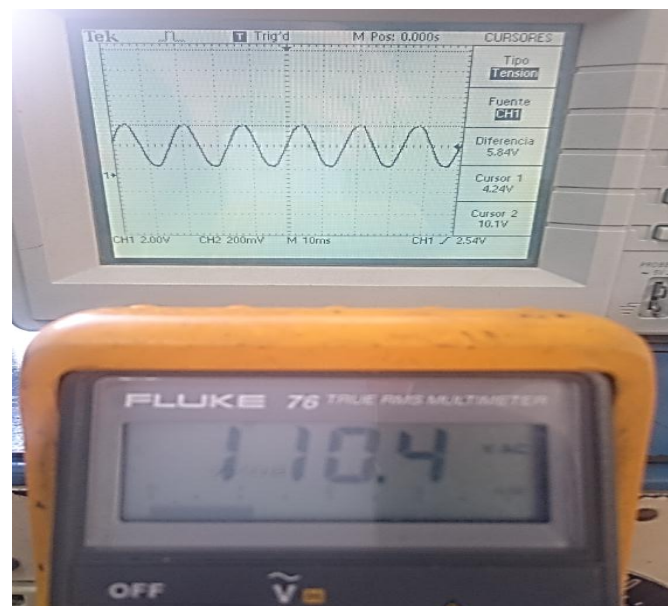


Figura 39. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 1 - Valor del pico de la señal.

A continuación, se verificará utilizando las ecuaciones (1), (2), (5) y (6) descritas en Anexo 1, que el sensor de tensión esté funcionando correctamente.

$$R_{23} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

$$R_{23} = \frac{22x10^3\Omega * 22x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{23} = 11 K\Omega$$

$$V_{ACR_2} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} * V_{red} \quad (2)$$

$$V_{ACR_2} = \frac{11x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 11x10^3\Omega} * 156.13V$$

$$V_{ACR_2} = 1,70 V$$

$$R_{12} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$R_{12} = \frac{1x10^6\Omega * 22x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{12} = 21.526 K\Omega$$

$$V_{DCR_2} = \frac{R_{12}}{R_3 + R_{12}} * 5V \quad (6)$$

$$V_{DCR_2} = \frac{21.526x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 21.526x10^3\Omega} * 5V$$

$$V_{DCR_2} = 2.47V$$

El centro de la onda de salida del sensor de tensión debe encontrarse situada en 2.47V y su valor pico en 4.17V, por lo tanto, observando y comparando estos valores con las figuras 38 y 39, se concluye que el sensor está funcionando correctamente.

Se debe de tener en cuenta que debido a la exactitud de las resistencias que conforman el partidor de tensión de la fase 1, los valores calculados para la onda de salida del sensor no serán exactos.

- *Sensor de tensión de la fase 2:* Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes

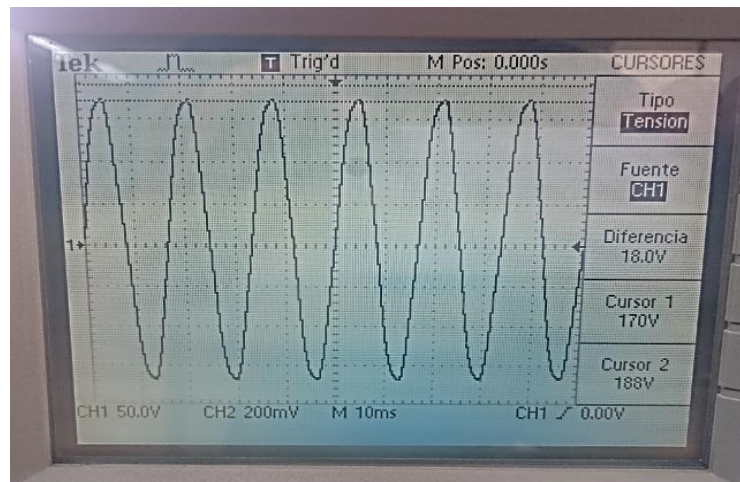


Figura 40. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 2 - Valor del pico de la señal.

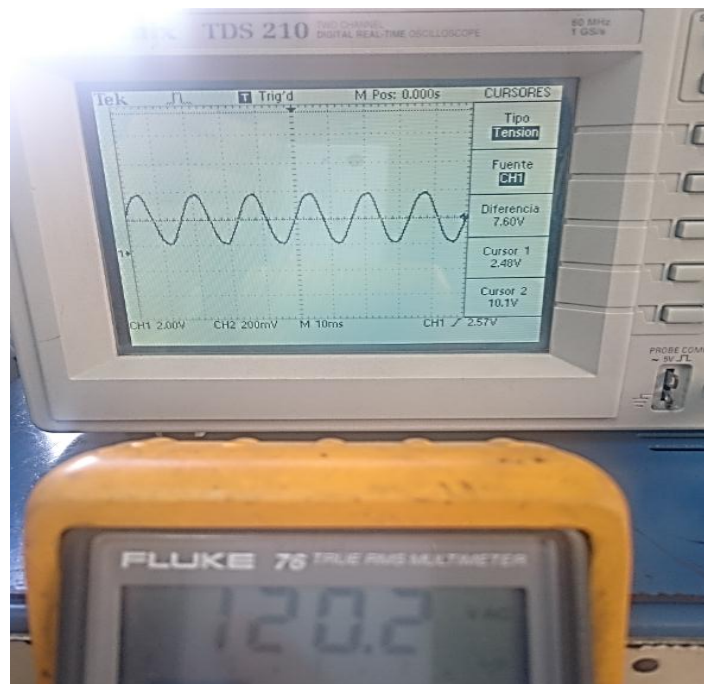


Figura 41. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 2 - Valor del centro de la señal.

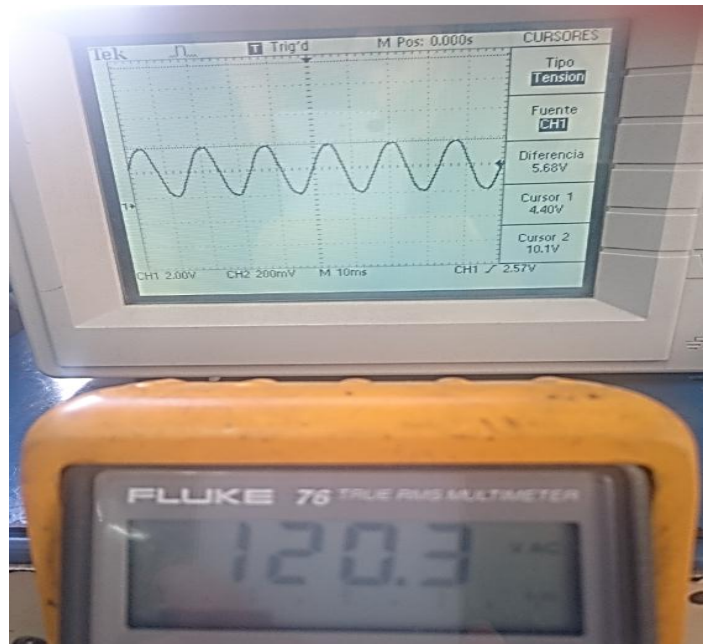


Figura 42. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 2 - Valor del pico de la señal.

A continuación, se verificará utilizando las ecuaciones (1), (2), (5) y (6) descritas en Anexo 1, que el sensor de tensión esté funcionando correctamente.

$$R_{23} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

$$R_{23} = \frac{22 \times 10^3 \Omega * 22 \times 10^3 \Omega}{22 \times 10^3 \Omega + 22 \times 10^3 \Omega}$$

$$R_{23} = 11 \text{ K}\Omega$$

$$V_{ACR_2} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} * V_{red} \quad (2)$$

$$V_{ACR_2} = \frac{11 \times 10^3 \Omega}{1 \times 10^6 \Omega + 11 \times 10^3 \Omega} * 170.13 \text{ V}$$

$$V_{ACR_2} = 1.85 \text{ V}$$

$$R_{12} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$R_{12} = \frac{1x10^6\Omega * 22x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{12} = 21.526 K\Omega$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{R_{12}}{R_3 + R_{12}} * 5V \quad (6)$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{21.526x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 21.526x10^3\Omega} * 5V$$

$$V_{DC_{R2}} = 2.47V$$

El centro de la onda de salida del sensor de tensión debe encontrarse situada en 2.47V y su valor pico en 4.32V, por lo tanto, observando y comparando estos valores con las figuras 41 y 42, se concluye que el sensor está funcionando correctamente.

Se debe de tener en cuenta que debido a la exactitud de las resistencias que conforman el partidor de tensión de la fase 2, los valores calculados para la onda de salida del sensor no serán exactos.

- *Sensor de tensión de la fase 3:* Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes

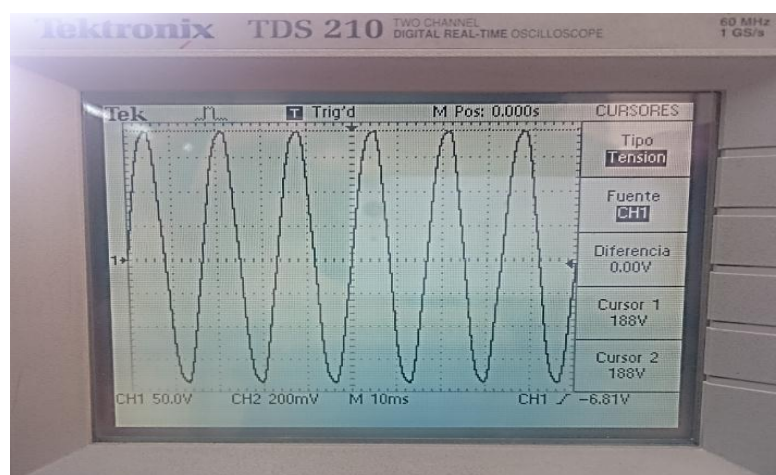


Figura 43. Señal de entrada del sensor de tensión de la fase 3 - Valor del pico de la señal.

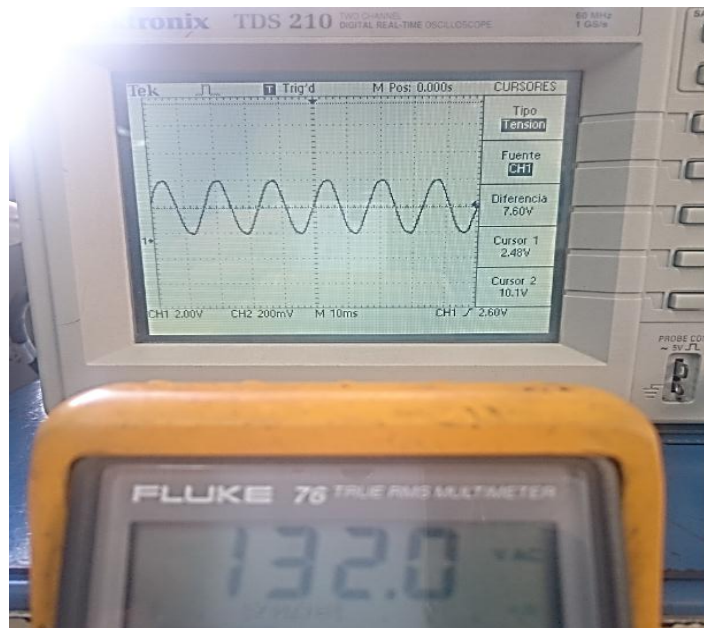


Figura 44. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 3 - Valor del centro de la señal.

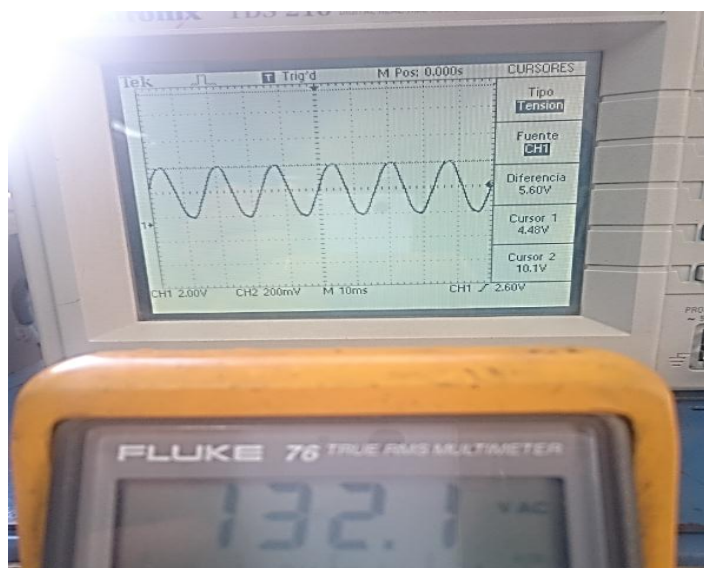


Figura 45. Señal de salida del sensor de tensión de la fase 3 - Valor del pico de la señal.

A continuación, se verificará utilizando las ecuaciones (1), (2), (5) y (6) descritas en Anexo 1, que el sensor de tensión esté funcionando correctamente.

$$R_{23} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

$$R_{23} = \frac{22x10^3\Omega * 22x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{23} = 11 K\Omega$$

$$V_{AC_{R2}} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} * V_{red} \quad (2)$$

$$V_{AC_{R2}} = \frac{11x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 11x10^3\Omega} * 186.82V$$

$$V_{AC_{R2}} = 2.03 V$$

$$R_{12} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$R_{12} = \frac{1x10^6\Omega * 22x10^3\Omega}{1x10^6\Omega + 22x10^3\Omega}$$

$$R_{12} = 21.526 K\Omega$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{R_{12}}{R_3 + R_{12}} * 5V \quad (6)$$

$$V_{DC_{R2}} = \frac{21.526x10^3\Omega}{22x10^3\Omega + 21.526x10^3\Omega} * 5V$$

$$V_{DC_{R2}} = 2.47V$$

El centro de la onda de salida del sensor de tensión debe encontrarse situada en 2.47V y su valor pico en 4.50V, por lo tanto, observando y comparando estos valores con las figuras 44 y 45, se concluye que el sensor está funcionando correctamente.

Se debe de tener en cuenta que debido a la exactitud de las resistencias que conforman el partidor de tensión de la fase 3, los valores calculados para la onda de salida del sensor no serán exactos.

5.1.1.2. Sensores de Corriente

Los pasos a seguir para verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los sensores de corriente, son los siguientes:

- Se conecta el sensor de corriente a una carga, con la finalidad de tener una señal de corriente de entrada en el sensor.
- Mediante el Osciloscopio TDS 210 se captura la señal de salida del sensor de corriente, dicha señal es la que entrara al microcontrolador dsPIC30F4013 dispositivo maestro.
- Se verifica que el sensor de corriente se encuentre trabajando correctamente. Esto se realiza, comprobando que la relación del sensor sea de 66 mV/A y que la onda se encuentre centrada en 2.5 V .

A continuación, se verificará el correcto funcionamiento de cada sensor de corriente:

- *Sensor de corriente de la fase 1:* Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes:

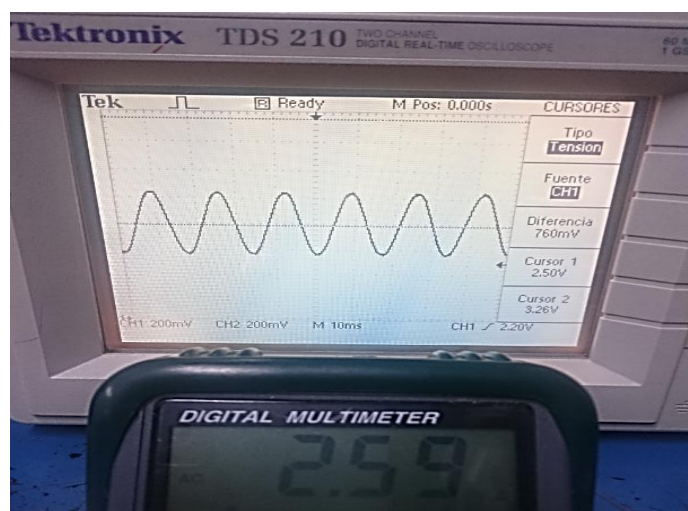


Figura 46. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 1 - Valor del centro de la señal.

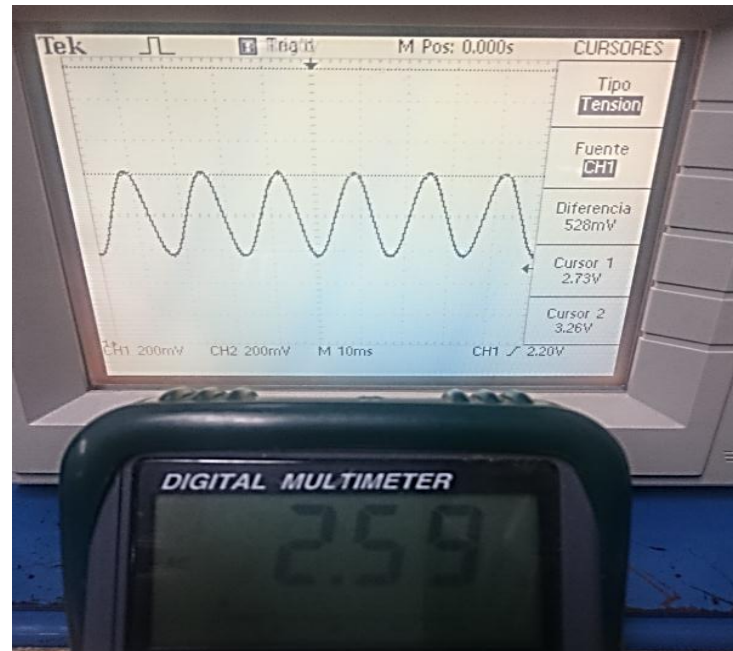


Figura 47. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 1 – Valor del pico de la señal.

Se puede observar en la figura 46 que la onda de salida del sensor de corriente se encuentra centrada en 2.5V.

El valor del punto máximo de la señal de salida del sensor debe ser:

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * I + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * 2.59 + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 2,70 \text{ V}$$

Comparando este resultado con el valor del punto máximo de la onda en la figura 47, se concluye que el sensor de corriente está funcionando correctamente.

- **Sensor de corriente de la fase 2:** Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes:

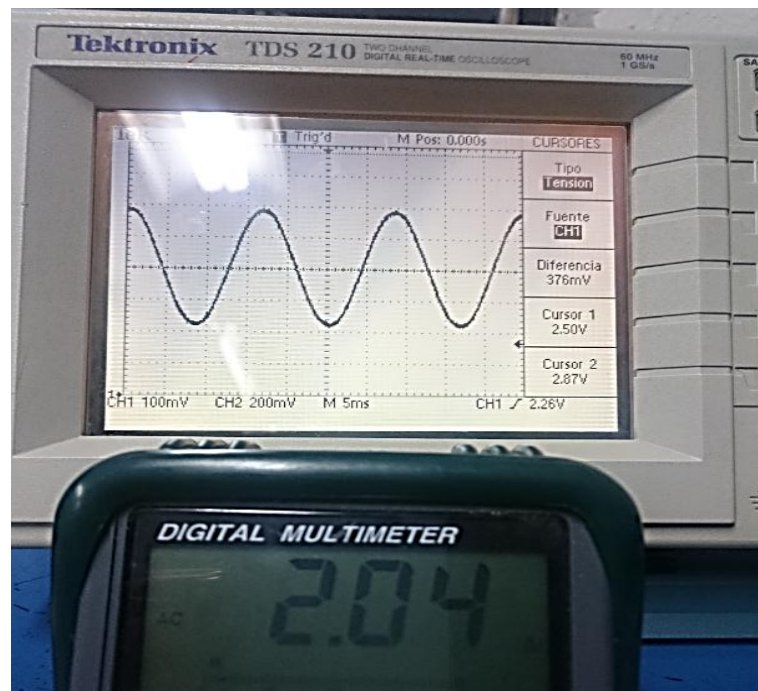


Figura 48. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 2 - Valor del centro de la señal.

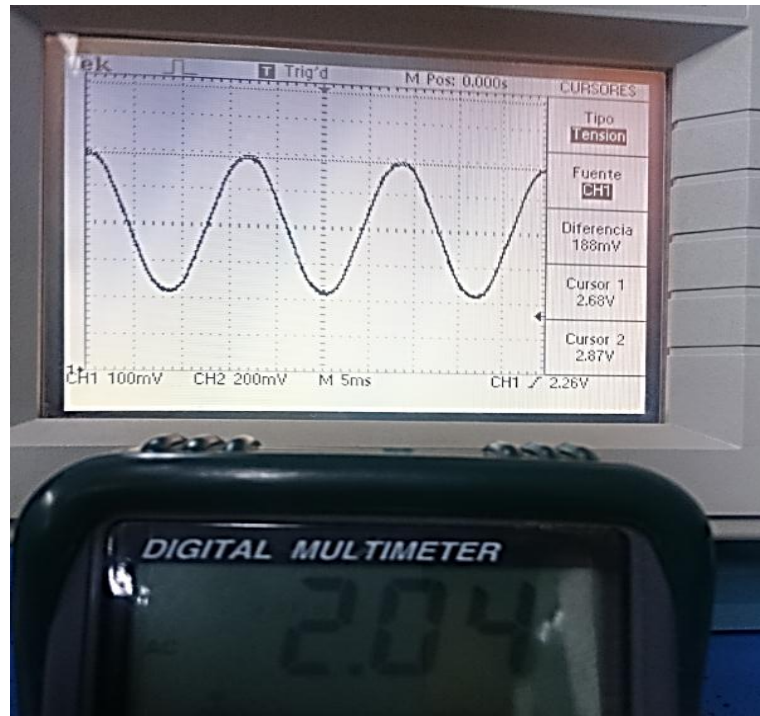


Figura 49. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 2 - Valor del pico de la señal.

Se puede observar en la figura 48 que la onda de salida del sensor de corriente se encuentra centrada en 2.5V.

El valor del punto máximo de la señal de salida del sensor debe ser:

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * I + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * 2.04 + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 2.64 \text{ V}$$

Comparando este resultado con el valor del punto máximo de la onda en la figura 49, se concluye que el sensor de corriente está funcionando correctamente.

- *Sensor de corriente de la fase 3:* Las gráficas de las señales de entrada y salida para este sensor, son las siguientes:

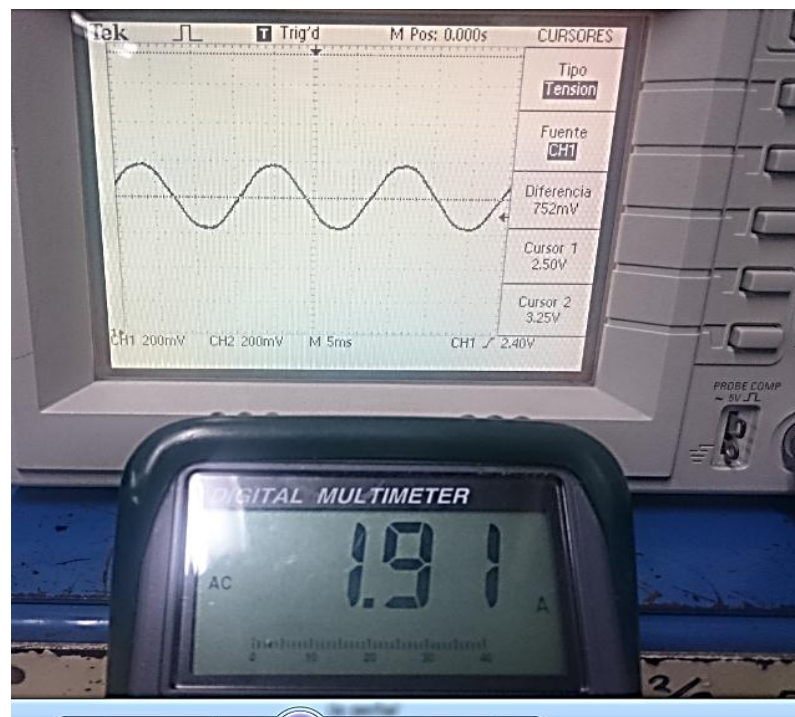


Figura 50. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 3 - Valor del centro de la señal.

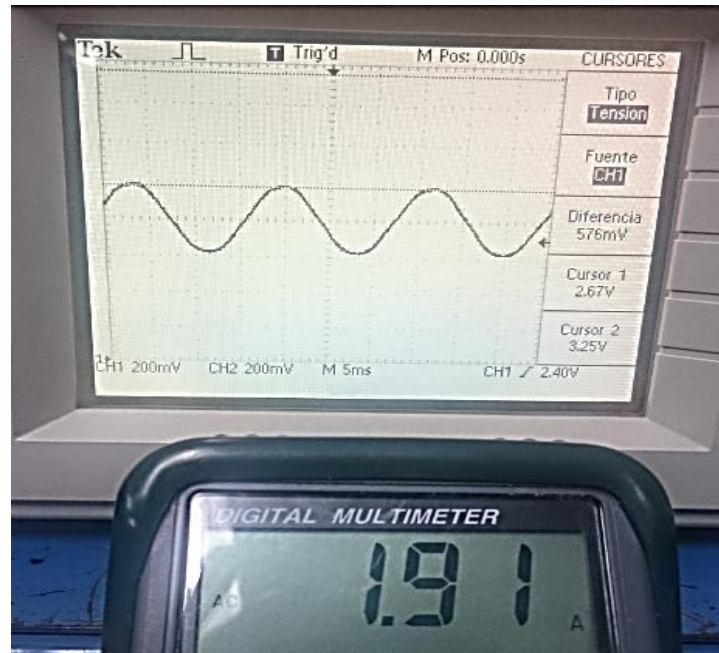


Figura 51. Señal de salida del sensor de corriente de la fase 3 – Valor del pico de la señal

Se puede observar en la figura 50 que la onda de salida del sensor de corriente se encuentra centrada en 2.5V.

El valor del punto máximo de la señal de salida del sensor debe ser:

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * I + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 66 \text{ mV} * 1.91 + 2.5 \text{ V}$$

$$Pico_{onda} = 2.63 \text{ V}$$

Comparando este resultado con el valor del punto máximo de la onda en la figura 51, se concluye que el sensor de corriente está funcionando correctamente.

5.1.2. Pruebas de Actuación del Banco de Condensadores

Para verificar el correcto funcionamiento del control y actuación del banco de condensadores, se conecta el prototipo a una carga de prueba resistiva-

inductiva, que consta de un inductor que puede ser variado por pasos y una resistencia variable. Como primer paso se conecta y se varía la carga sin el banco de condensadores y posteriormente se repite el mismo procedimiento conectando el banco, tratando en lo posible que la variación y duración de la carga sea la misma para ambos casos.

Los pasos a seguir para el control y actuación del banco de condensadores son los siguientes:

- Se coloca el inductor en un paso específico.
- Se modifica la resistencia variable hasta obtener una corriente inicial de aproximadamente 1.5A.
- Por medio de la resistencia variable se realiza un incremento de corriente de 1.5A en periodos de 2 minutos.
- El procedimiento se repite hasta alcanzar una corriente máxima de 6A.
- Luego de haber alcanzado los 6A, se va reduciendo la corriente en pasos de 1.5A y periodos de 2 minutos hasta llegar a la corriente inicial.

Una gráfica comparativa del factor de potencia en función del tiempo siguiendo el procedimiento anterior, se muestra a continuación:

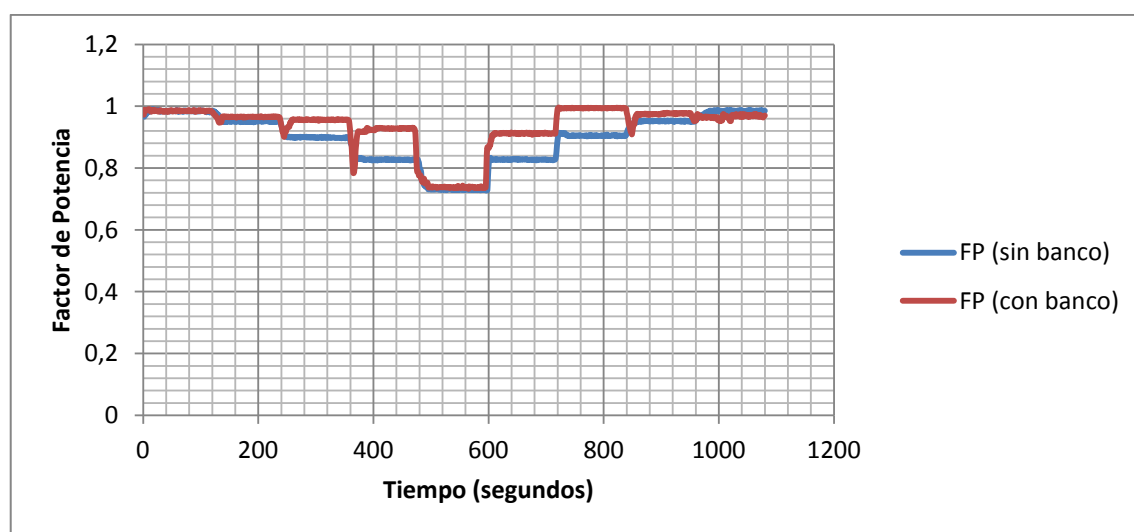


Figura 52. Gráfica comparativa del factor de potencia en una carga lineal.

Como se puede observar en la gráfica anterior, las condiciones del factor de potencia son mejores cuando el banco de condensadores se encuentra operando, lo cual verifica el correcto funcionamiento del banco.

5.2. Pruebas de Monitoreo Mediante Dispositivo con Sistema Operativo Android

Para verificar la precisión de los parámetros eléctricos calculados por el prototipo, así como el buen funcionamiento de la aplicación desarrollada para un dispositivo con Sistema Operativo Android para la visualización de los mismos, se ha comparado los datos desplegados en la pantalla del dispositivo Android con la valores desplegados en los instrumentos de dedición: PROSKYT DIGITAL MULTIMETER 3PK-345 y FLUKE 76 TRUE RMS MULTIMETER.

A continuación, se presenta fotos capturadas que verifican el procedimiento anterior; realizadas a cada una de las fases del prototipo:



Figura 53. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android -Fase 1.



Figura 54. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android - Fase 2.



Figura 55. Verificación de datos desplegados por el dispositivo Android - Fase 3.

Se puede verificar mediante las figuras 53, 54 y 55 que los datos calculados por el prototipo y la aplicación desarrollada para un dispositivo con Sistema Operativo Android se encuentran funcionando correctamente.

5.3. Pruebas en un Sistema Eléctrico Residencial

Las pruebas en un sistema eléctrico residencial se llevaron a cabo conectando el prototipo en la acometida principal de una residencia, sin incluir el banco de condensadores y posteriormente incluyéndolo.

Con la finalidad poder comparar los parámetros eléctricos obtenidos en ambos casos, se definieron 8 pasos de carga específicos que constan de:

- *Paso 1:* 4 focos fluorescentes, 1 foco incandescente, 1 refrigeradora.
- *Paso 2:* 4 focos fluorescentes, 1 foco incandescente.
- *Paso 3:* 4 focos fluorescentes, 1 foco incandescente.
- *Paso 4:* 6 focos fluorescentes.
- *Paso 5:* 1 PC de escritorio, 2 PC portátiles, 1 impresora.
- *Paso 6:* 1 TV, 1 minicomponente de audio, 1 radio, 1 cafetera.
- *Paso 7:* 1 Waflera.
- *Paso 8:* 1 Plancha.

La prueba se inició en el paso 1 correspondiente a la carga mínima y en periodos de 5 minutos se fue incrementando hasta alcanzar la carga máxima. Una vez alcanzada la carga máxima, se fueron retirando los pasos con el mismo periodo de tiempo hasta llegar a la condición inicial de carga mínima. El procedimiento anterior se realizó sin conectar el banco de condensadores y posteriormente conectando dicho banco.

Las gráficas comparativas tanto de potencia activa como de factor de potencia de los resultados obtenidos en esta prueba, se muestran a continuación:

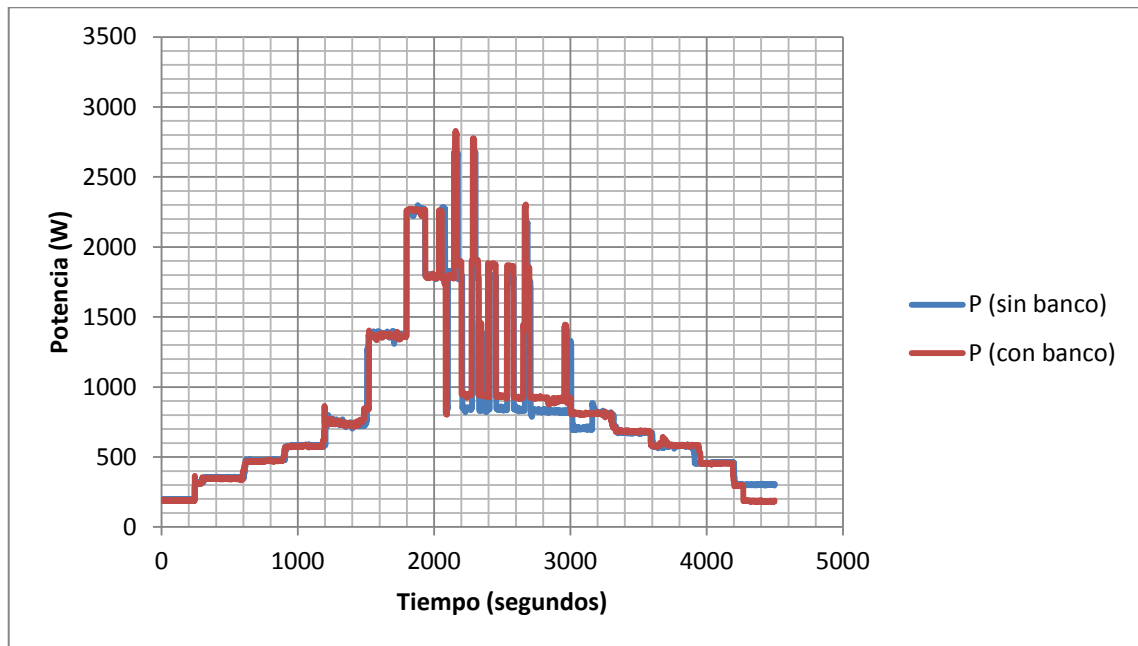


Figura 56. Gráfica comparativa de Potencia Activa en una carga residencial.

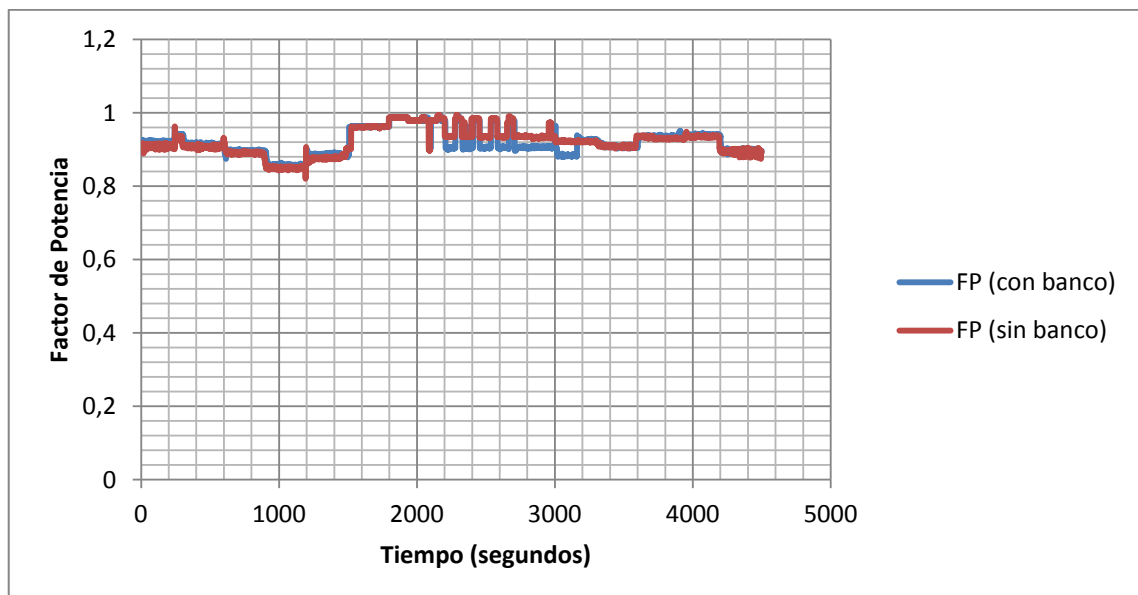


Figura 57. Gráfica comparativa del Factor de Potencia en una carga residencial.

Se puede observar en las figuras 56 y 57 que tanto la potencia activa como el factor de potencia permanecen aproximadamente igual ya sea con o sin el banco de condensadores. Esto indica que el sistema eléctrico residencial no requirió la inyección de ninguna unidad del banco de condensadores.

CONCLUSIONES

- El prototipo diseñado adquiere las ondas de tensión y corriente y calcula a partir de éstas los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión y corriente; con una buena precisión y un mínimo de hardware requerido.
- Con el prototipo desarrollado es posible obtener de forma simple la información necesaria para generar curvas de carga eléctrica de grandes periodos de tiempo (hasta seis meses) y con una excelente resolución, pues los parámetros eléctricos obtenidos por el prototipo se almacenan cada segundo dentro de una memoria flash micro SD que puede utilizarse en cualquier computador.
- El prototipo desarrollado puede trabajar con múltiples formas de conexión, lo cual permite cubrir la mayoría de las necesidades de almacenamiento de información de demanda eléctrica de una carga tipo residencial con un máximo de corriente de 60A RMS.
- Las lámparas fluorescentes compactas presentan un bajo factor de potencia con un comportamiento capacitivo y contribuyen en gran medida al incremento de la distorsión armónica total de la onda de corriente. Por lo tanto, para este tipo de carga no es posible compensar su factor de potencia empleando condensadores estáticos.
- Las cargas eléctricas más representativas de una residencia son mayormente resistivas (plancha, waflera, ducha eléctrica, etc.), en consecuencia, durante los periodos de demanda dónde dichas cargas se encuentren operativas, el factor de potencia del sistema estará en un nivel óptimo.



- La utilización de un banco de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia no es aplicable a una vivienda dónde la mayor parte del sistema de iluminación esté conformado por lámparas fluorescentes compactas, dado que éstas presentan un comportamiento capacitivo.
- El empleo de condensadores estáticos para la corrección del factor de potencia es muy efectivo si se lo aplica a cargas lineales y de tipo inductivo, que generalmente están presentes en maquinaria y equipos que utilizan motores eléctricos.

RECOMENDACIONES

- Antes de encender el prototipo es recomendable verificar que los canales que se utilizarán para adquirir las señales de tensión y corriente se encuentren habilitados con su respectivo jumper selector. Los canales que no se vayan a utilizar deberán conectarse necesariamente a la referencia GND.
- Si se requiere registrar cargas cuyo consumo de corriente supere la capacidad del sensor utilizado para éste prototipo, fácilmente se puede intercambiar dicho sensor por uno de mayor capacidad de corriente y con la misma compatibilidad de pines.
- Realizar todas las conexiones del prototipo con el sistema eléctrico sin carga, con la finalidad de evitar posibles accidentes.
- Configurar la fecha y hora del prototipo antes de iniciar el almacenamiento de información para asegurar que se dispone de una referencia de tiempo correcta.
- Una vez que se ha extraído la memoria micro SD y se han exportado todos los archivos de datos hacia un computador, es recomendable formatear la tarjeta micro SD para evitar la fragmentación de la memoria debido al uso continuo de la misma.

REFERENCIAS

- [1] Pansini Anthony J. *Guide to Electrical Power Distribution Systems*, 6th ed. Lilburn: The Fairmont Press, 2005.
- [2] CONELEC, Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh). [Online]. Disponible:
http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4227
- [3] Sallam A. A., Abdelhay A. *Electric Distribution Systems*. New Jersey: Wiley, 2011.
- [4] Hines William W., Monthomery Douglas C., Goldsman David M., Borrer Connie M. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería*, 3ra ed. México: Ed. Continental, 2005.
- [5] Electrical Technology, Power Factor improvement Methods with their advantages & Disadvantages. [Online]. Disponible:
<http://www.electricaltechnology.org/2013/10/power-factor-improvement-methods-with-their-advantages-disadvantages.html#>
- [6] Microchip. *dsPIC30F3014, dsPIC30F4013 Data Sheet*. Microchip Technology Inc., 2004.
- [7] Allegro MicroSystems. *ACS714 Data Sheet*.
- [8] Maxim Integrated. *DS1307 64X8, Serial, I^2C Real Time Clock*.
- [9] Transcend. *TS256M-2GUSD microSD Memory Card*.
- [10] Palacios Enrique, Remiro Fernando, López Lucas J. *PIC16F84 Desarrollo de proyectos* 1ra ed. Alfaomega, 2004.

- [11] Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd. *HC-06 Module Data Sheet*.
- [12] Microchip. *PIC16F882/883/884/886/887 Data Sheet*. Microchip Technology Inc., 2007.
- [13] ST. *BTA16, BTB16, T1610, T1635, 16A Snubberless, logic level and Standar Triacs*, 2010.
- [14] Motorola Semiconductor. *6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output Data Sheet*. Motorola Inc., 1995.
- [15] López Veraguas Joan Pere. *Compatibilidad electromagnética y Seguridad funcional en sistemas electrónicos*, 1ra ed. Alfaomega, 2013.
- [16] Chapra Steven C., Canale Raymond P. *Numerical Methods for Engineers*, 6th Ed. McGraw-Hill., 2010.
- [17] Boylestad Robert L. *Introductory Circuit Analysis*, 11th Ed. Pearson., 2007.
- [18] Téllez Ramírez Eugenio. *Distorsión Armónica*. AP&C.



ANEXOS

ANEXO 1

FORMULACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS DEL PARTIDOR DE TENSIÓN

De acuerdo al teorema de superposición, se tiene:

- *Análisis en AC.*- Para el análisis en AC, se cortocircuita la fuente de corriente continua, resultando el siguiente circuito:

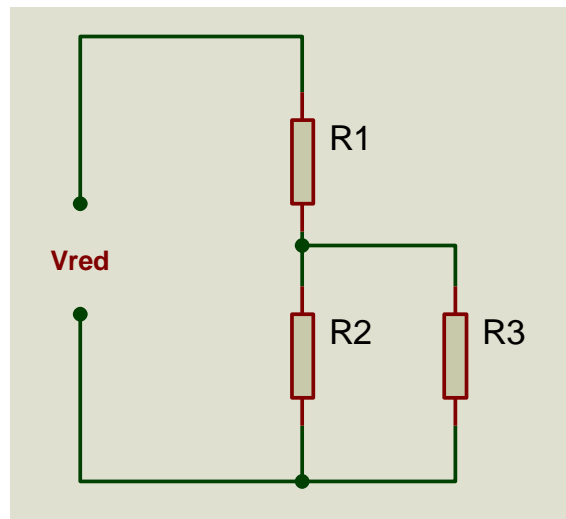


Figura 58. Circuito del partidor de tensión - Análisis en AC.

Realizando el análisis, se tiene:

$$R_{23} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

$$V_{R2} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} V_{red} \quad (2)$$

De la ecuación (2):

$$\frac{V_{R2}}{V_{red}} = \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}}$$

$$\frac{R_1 + R_{23}}{R_{23}} = \frac{V_{red}}{V_{R2}}$$

$$\frac{R_1}{R_{23}} + 1 = \frac{V_{red}}{V_{R2}}$$

$$\frac{R_1}{R_{23}} = \frac{V_{red}}{V_{R2}} - 1$$

$$\frac{R_1}{R_{23}} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2}} \quad (3)$$

Reemplazando la ecuación (1) en (3):

$$\frac{R_1}{\frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2}}$$

$$\frac{R_1 * (R_2 + R_3)}{R_2 * R_3} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2}} \quad (4)$$

- *Análisis en DC.*- Para el análisis en DC, se cortocircuita la fuente de corriente alterna, resultando el siguiente circuito:

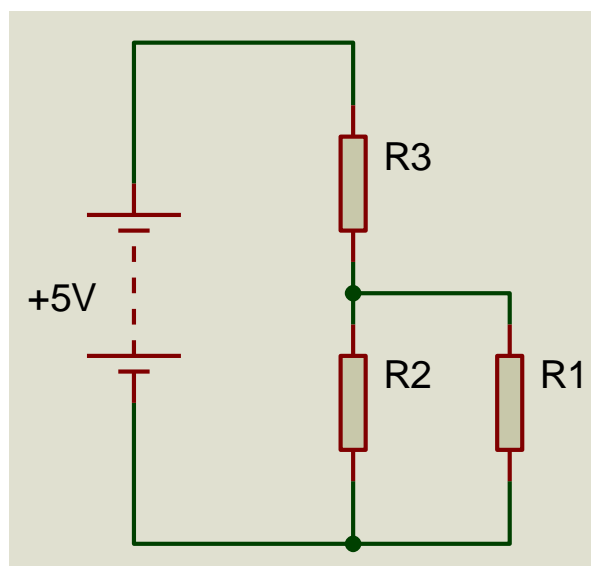


Figura 59. Circuito del partidor de tensión - Análisis en DC.

Realizando el análisis, se tiene:

$$R_{12} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$V_{R2} = \frac{R_{12}}{R_3 + R_{12}} * 5V \quad (6)$$

Debido a que la onda de tensión debe encontrarse centrada en 2.5V ya que el rango del ADC se encuentra entre 0 y 5V, se tiene que:

$$V_{R3} = V_{R12} = 2.5$$

Por lo dicho anteriormente:

$$R_3 = R_{12}$$

$$R_3 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (7)$$

➤ *Análisis Final.- Una vez realizado el análisis en AC y DC del circuito, se realiza la superposición de ambos.*

De la ecuación (4):

$$\frac{R_1 * (R_2 + R_3)}{R_2 * R_3} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2}}$$

$$\frac{R_2 + R_3}{R_2 * R_3} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

Reemplazando la ecuación (7) en la ecuación anterior:

$$\frac{1}{\frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}} + \frac{1}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1 * R_2} + \frac{1}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$\frac{2}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1} - \frac{1}{R_1}$$

$$\frac{2}{R_2} = \frac{V_{red} - V_{R2} - V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$\frac{2}{R_2} = \frac{V_{red} - 2V_{R2}}{V_{R2} * R_1}$$

$$R_2 = \frac{2 * V_{R2} * R_1}{V_{red} - 2V_{R2}} \quad (8)$$

Finalmente, las ecuaciones para el cálculo de las resistencias del partidor de tensión a utilizarse en este proyecto, son:

$$R_1 = R_1$$

$$R_2 = \frac{2 * V_{R2} * R_1}{V_{red} - 2V_{R2}}$$

$$R_3 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO PRINCIPAL



DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO DEL BANCO DE CONDENSADORES



ANEXO 4

DIAGRAMA PCB LAYOUT DEL CIRCUITO PRINCIPAL

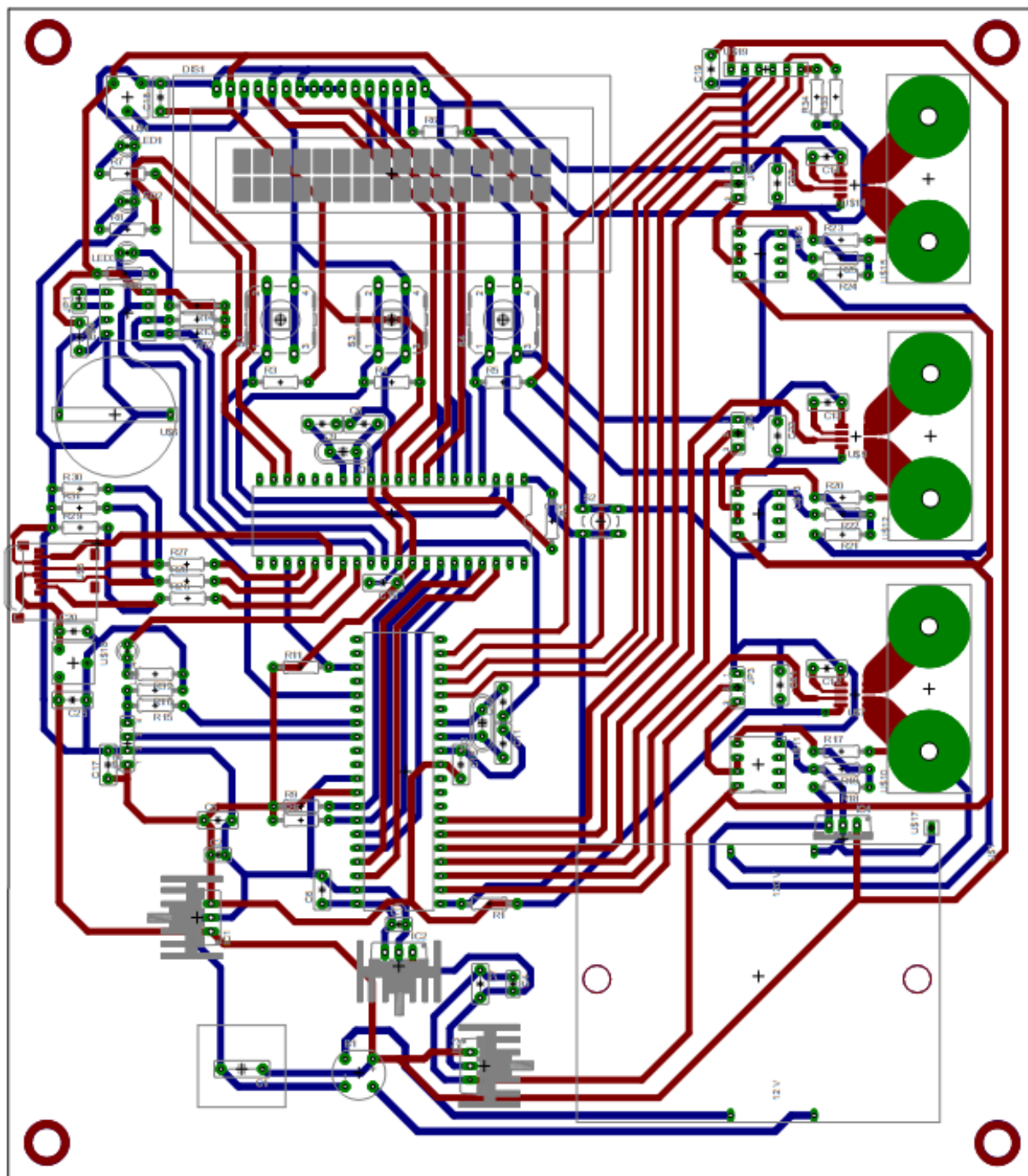
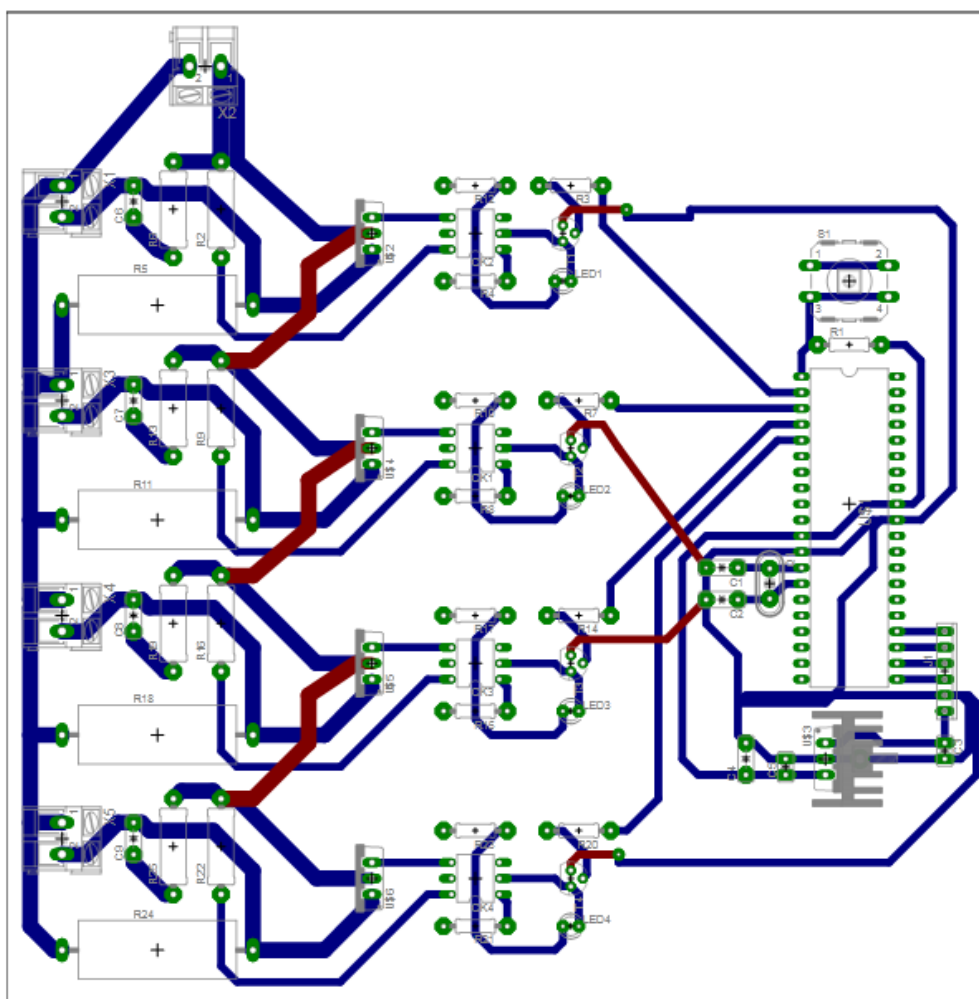


Figura 62. Diagrama PCB Layout del circuito principal.

ANEXO 5

DIAGRAMA PCB LAYOUT DEL CIRCUITO DEL BANCO DE
CONDENSADORES

ANEXO 6

MANUAL DE USO DEL PROTOTIPO

Formas de Conexión del Prototipo en un Sistema Eléctrico Residencial

Es posible conectar el prototipo a un sistema eléctrico residencial ya sea monofásico, bifásico o trifásico con la finalidad de obtener los valores de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de tensión y corriente; de dicho sistema.

Adicionalmente, se pueden realizar conexiones en paralelo de los sensores de tensión y corriente con el objetivo de registrar cargas eléctricas de mayor potencia, solo en casos de sistemas eléctricos residenciales monofásicos y bifásicos.

Se debe tener en cuenta que la tensión máxima que puede llegar a medir cada sensor de tensión sin que estos lleguen a saturarse es de $160 V_{RMS}$. De la misma manera, la corriente máxima que puede llegar a medir cada sensor de corriente sin que éstos lleguen a saturarse es de $20 A_{RMS}$.

Las distintas conexiones que se pueden realizar del prototipo en un sistema eléctrico residencial son las que se describen a continuación:

➤ Conexiones en un Sistema Eléctrico Residencial Monofásico

Para obtener los valores de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de tensión y corriente; de un sistema eléctrico residencial monofásico, los sensores de tensión y corriente pueden conectarse de la siguiente manera:

- *Solamente los Sensores de la Fase 1.-* Este tipo de conexión permite:
 - Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$.
 - Medición de corriente hasta $20 A_{RMS}$.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1 aplicando esta conexión, corresponden a los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial monofásico al cual se encuentra conectado el prototipo.

A continuación, se muestra una imagen del prototipo con este tipo de conexión:

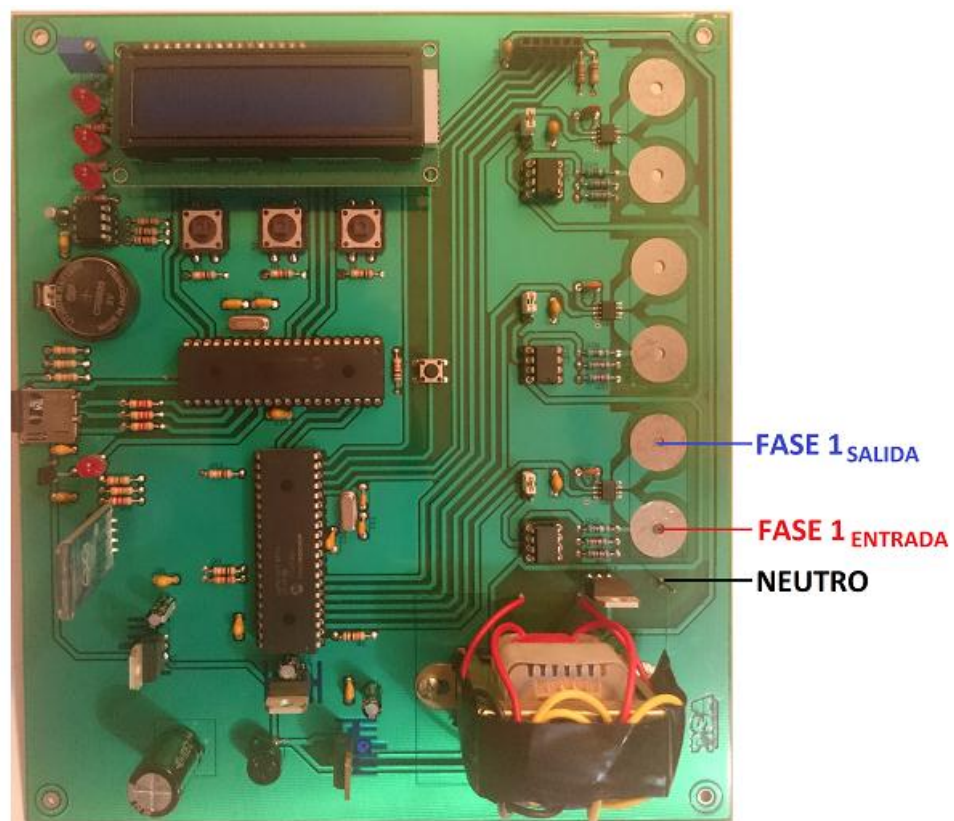


Figura 64. Conexión de los sensores de la fase 1 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.

- *Sensores en Paralelo: Fase 1 y Fase 2 o Fase 1 y Fase 3.*- Estos tipos de conexiones permite:
 - Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$.
 - Medición de corriente hasta $40 A_{RMS}$.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3 (dependiendo de qué conexión se realizó), son utilizados para calcular los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial monofásico al cual se encuentra conectado el prototipo. Este cálculo se detalla a continuación:

- *Tensión RMS de la red:* Promedio de las tensiones RMS de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.
- *Corriente RMS de la red:* Suma de las corrientes RMS de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.
- *Factor de potencia de la red:* Promedio de los factores de potencia de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.
- *Distorsión armónica total de tensión de la red:* Promedio de las distorsiones armónicas totales de tensión de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.
- *Distorsión armónica total de corriente de la red:* Promedio de las distorsiones armónicas totales de corriente de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.

A continuación, se muestra imágenes del prototipo con estos tipos de conexiones:

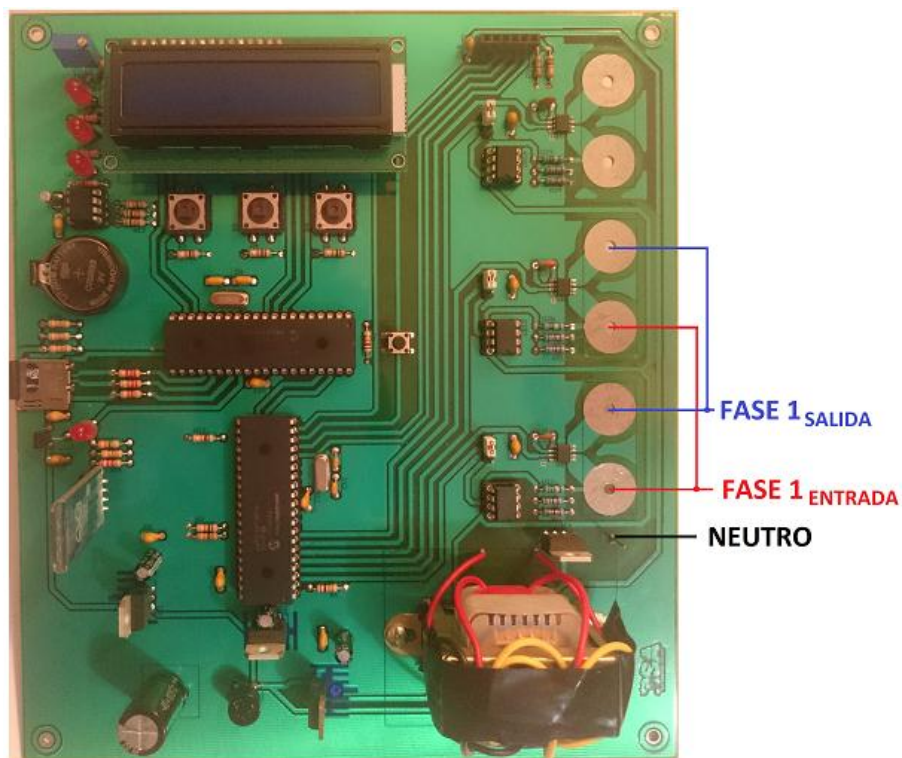


Figura 65. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1 y fase 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.

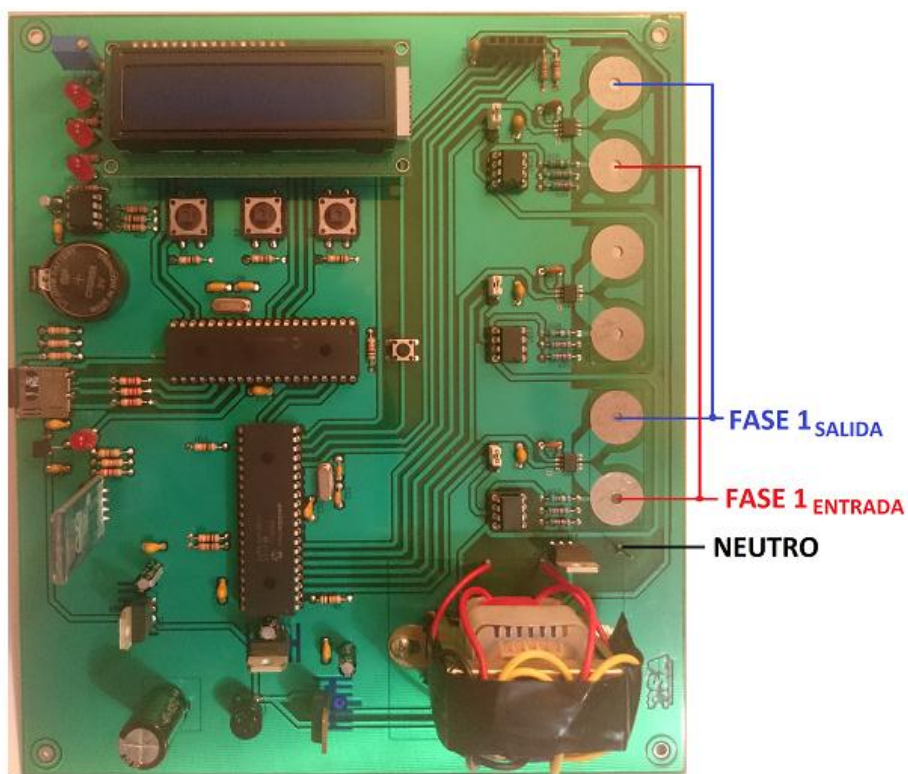


Figura 66. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.

- *Sensores en paralelos de las tres fases.*- Este tipo de conexión permite:
 - Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$.
 - Medición de corriente hasta $60 A_{RMS}$.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1, fase 2 y fase 3 aplicando esta conexión, son utilizados para calcular los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial monofásico al cual se encuentra conectado el prototipo. Este cálculo se detalla a continuación:

- *Tensión RMS de la red:* Promedio de las tensiones RMS de la fase 1, fase 2 y fase 3.
- *Corriente RMS de la red:* Suma de las corrientes RMS de la fase 1, fase 2 y fase 3.
- *Factor de potencia de la red:* Promedio de los factores de potencia de la fase 1, fase 2 y fase 3.
- *Distorsión armónica total de tensión de la red:* Promedio de las distorsiones armónicas totales de tensión de la fase 1, fase 2 y fase 3.
- *Distorsión armónica total de corriente de la red:* Promedio de las distorsiones armónicas totales de corriente de la fase 1, fase 2 y fase 3.

A continuación, se muestra una imagen del prototipo con este tipo de conexión:

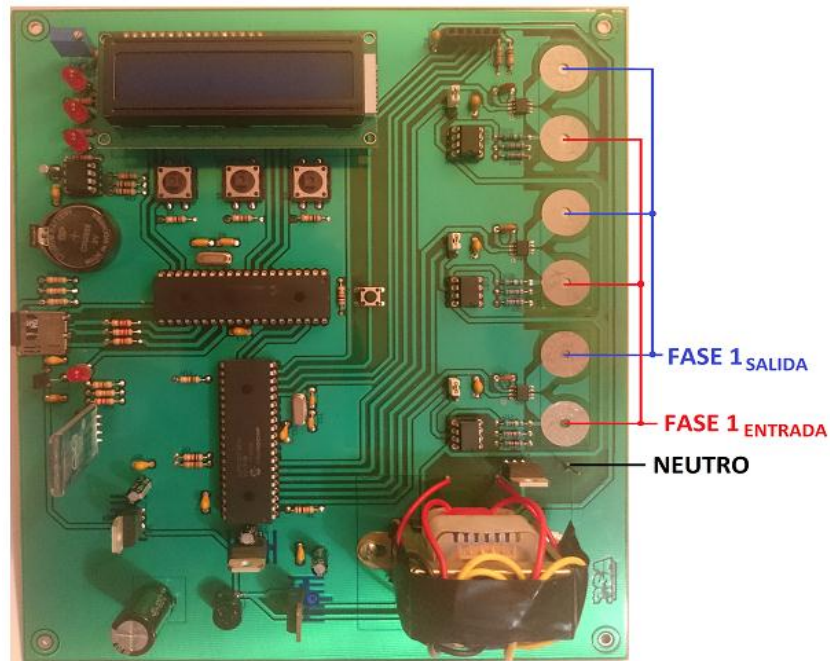


Figura 67. Conexión en paralelo de los sensores de la fase 1, fase 2 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial monofásico.

➤ Conexiones en un Sistema Eléctrico Bifásico

Para obtener los valores de los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de tensión y corriente; de un sistema eléctrico bifásico, los sensores de tensión y corriente pueden conectarse de la siguiente manera:

- *Sensores de la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3.*- Estos tipos de conexiones permite:
 - Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$ por fase.
 - Medición de corriente hasta $20 A_{RMS}$ por fase.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1 y fase 2 o fase 1 y fase 3 (dependiendo de qué conexión se realizó), corresponden a los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial bifásico al cual se encuentra conectado el prototipo.

A continuación, se muestra imágenes del prototipo con estos tipos de conexiones:

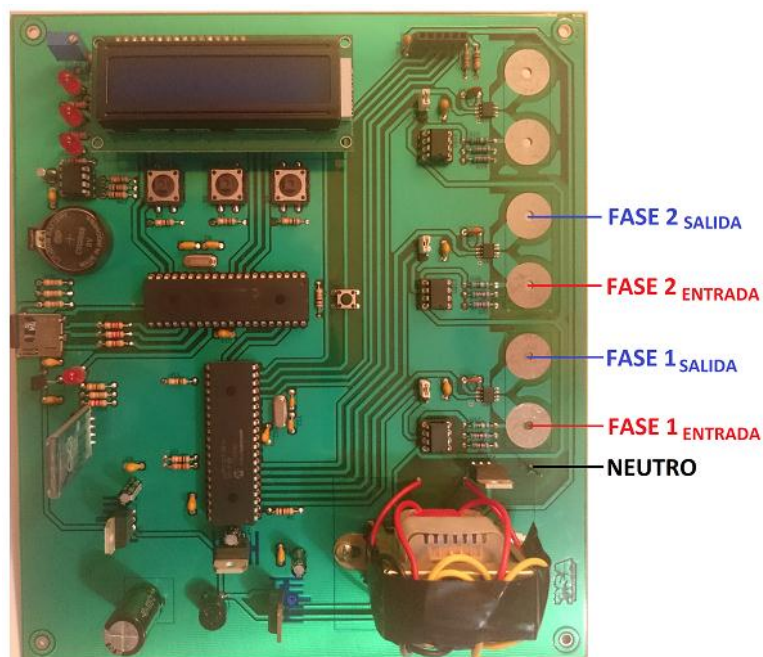


Figura 68. Conexión de los sensores de la fase 1 y fase 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.

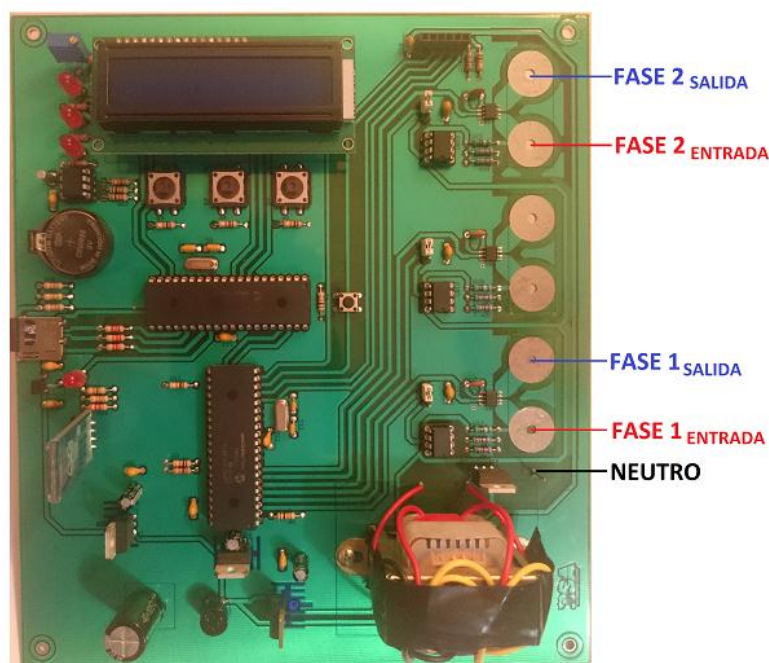


Figura 69. Conexión de los sensores de la fase 1 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.

- *Sensores de una fase y las otras dos fases en paralelo.*- Estos tipos de conexiones permite:
 - Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$ por fase.
 - Medición de corriente hasta $20 A_{RMS}$ utilizando el sensor de una fase.
 - Medición de corriente hasta $40 A_{RMS}$ utilizando los sensores conectados en paralelo de las otras dos fases.

Las combinaciones de las conexiones de los sensores descritos para este punto se detallan a continuación:

- *Caso 1.*- Sensor 1 y en paralelo: Sensor 2 y 3.
- *Caso 2.*- Sensor 2 y en paralelo: Sensor 1 y 3.
- *Caso 3.*- Sensor 3 y en paralelo: Sensor 1 y 2.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1, fase 2 y fase 3 utilizando estos tipos de conexiones, son utilizados para calcular los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial bifásico al cual se encuentra conectado el prototipo. Este cálculo se detalla a continuación:

-Para el Caso 1:

- *Tensión RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de tensión RMS almacenado en la fase 1 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de tensión RMS almacenados en la fase 2 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Corriente RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de corriente RMS almacenado en la

fase 1 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a la suma de los datos de corriente RMS almacenados en la fase 2 y fase 3 de la memoria micro SD.

- *Factor de potencia de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de factor de potencia almacenado en la fase 1 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de factor de potencia almacenados en la fase 2 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de tensión de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión armónica total de tensión almacenado en la fase 1 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de tensión almacenados en la fase 2 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de corriente de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión armónica total de corriente almacenado en la fase 1 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de corriente almacenados en la fase 2 y fase 3 de la memoria micro SD.

-Para el caso 2:

- *Tensión RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de tensión RMS almacenado en la fase 2 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase,

este valor corresponderá a un promedio de los datos de tensión RMS almacenados en la fase 1 y fase 3 de la memoria micro SD.

- *Corriente RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de corriente RMS almacenado en la fase 2 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a la suma de los datos de corriente RMS almacenados en la fase 1 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Factor de potencia de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de factor de potencia almacenado en la fase 2 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de factor de potencia almacenados en la fase 1 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de tensión de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión armónica total de tensión almacenado en la fase 2 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de tensión almacenados en la fase 1 y fase 3 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de corriente de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión armónica total de corriente almacenado en la fase 2 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de corriente almacenados en la fase 1 y fase 3 de la memoria micro SD.

-Para el caso 3:

- *Tensión RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de tensión RMS almacenado en la fase 3 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de tensión RMS almacenados en la fase 1 y fase 2 de la memoria micro SD.
- *Corriente RMS de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de corriente RMS almacenado en la fase 3 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a la suma de los datos de corriente RMS almacenados en la fase 1 y fase 2 de la memoria micro SD.
- *Factor de potencia de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de factor de potencia almacenado en la fase 3 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de factor de potencia almacenados en la fase 1 y fase 2 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de tensión de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión armónica total de tensión almacenado en la fase 3 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de tensión almacenados en la fase 1 y fase 2 de la memoria micro SD.
- *Distorsión armónica total de corriente de la red:* Para la primera fase, este valor corresponderá al dato de distorsión

armónica total de corriente almacenado en la fase 3 de la memoria micro SD; mientras que para la segunda fase, este valor corresponderá a un promedio de los datos de distorsión armónica total de corriente almacenados en la fase 1 y fase 2 de la memoria micro SD.

A continuación, se muestra imágenes del prototipo con este tipo de conexiones:

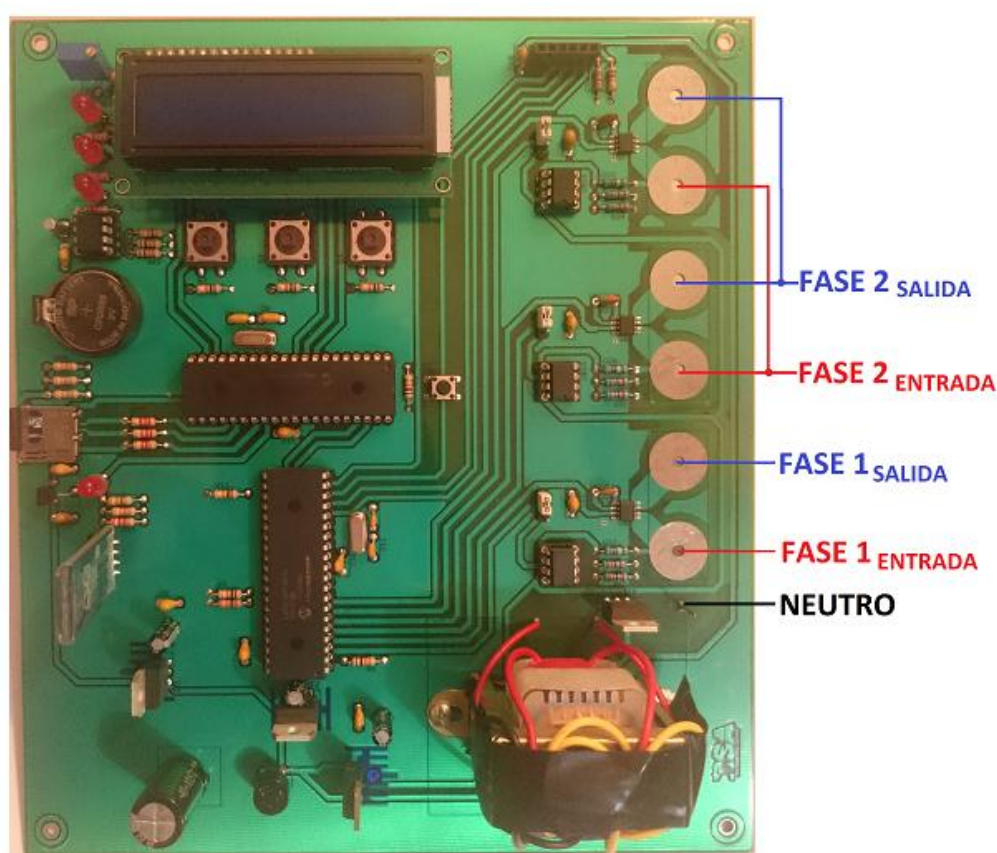


Figura 70. Conexión de los sensores de la fase 1, paralelo fases 2 y 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.

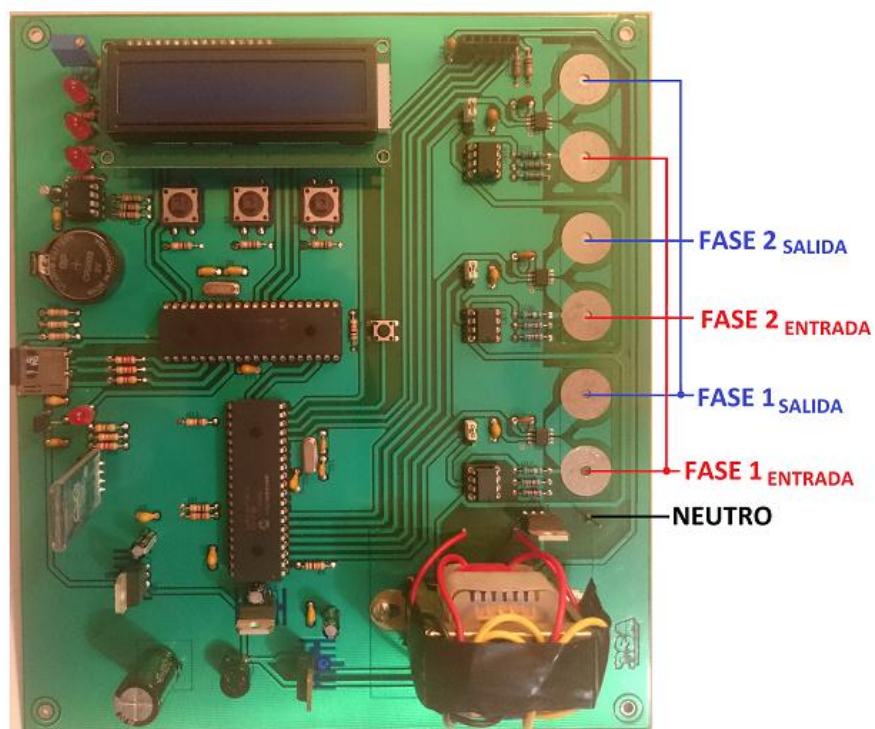


Figura 71. Conexión de los sensores de la fase 2, paralelo fases 1 y 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.

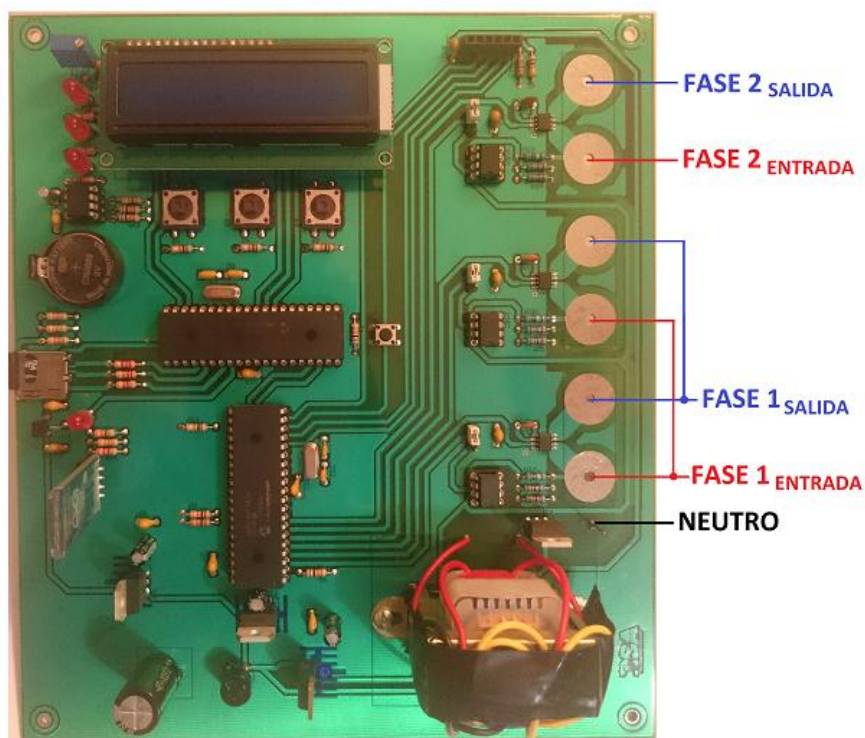


Figura 72. Conexión de los sensores de la fase 3, paralelo fases 1 y 2 para la medición en un sistema eléctrico residencial bifásico.

➤ Conexión en un Sistema Eléctrico Trifásico

Para obtener los parámetros eléctricos: tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia y distorsión armónica de tensión y corriente; de un sistema eléctrico trifásico, todos los sensores de tensión y corriente deberán conectarse directamente a cada una de las fases de la red. Este tipo de conexión permite:

- Medición de tensión hasta $160 V_{RMS}$ por fase.
- Medición de corriente hasta $20 A_{RMS}$ por fase.

Los datos almacenados en la memoria micro SD establecidos para la fase 1, fase 2 y fase 3 aplicando esta conexión, corresponden a los valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial trifásico al cual se encuentra conectado el prototipo.

A continuación, se muestra una imagen con este tipo de conexión:

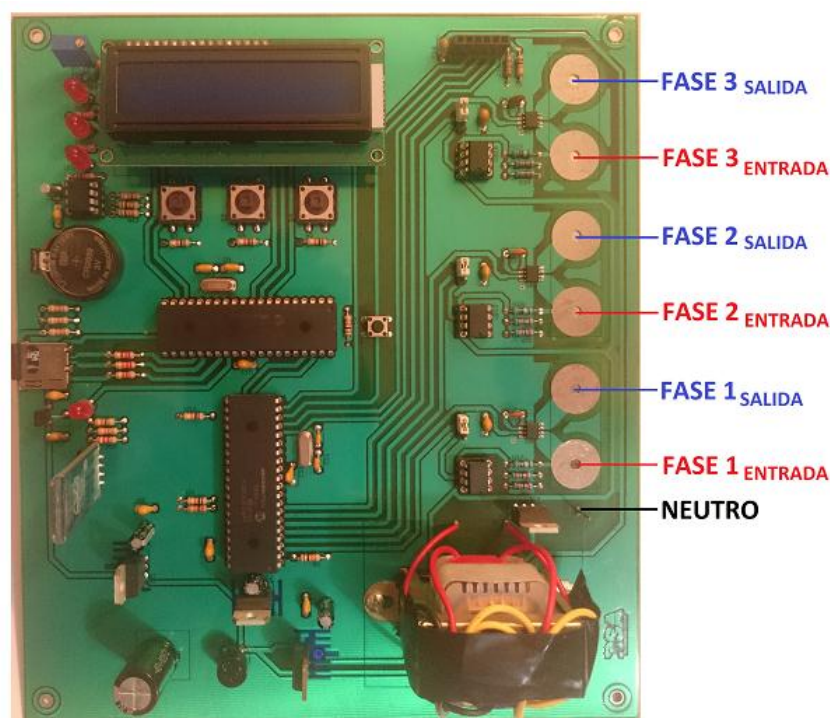


Figura 73. Conexión de los sensores de la fase 1, fase 2 y fase 3 para la medición en un sistema eléctrico residencial trifásico.

Forma de Selección de los Sensores para su Utilización

Para la medición de los parámetros eléctricos de un sistema residencial, se debe seleccionar los sensores por fase (sensor de tensión y corriente) que se van a utilizar para realizar dicha medición.

Los sensores de tensión y corriente de una fase están controlados por un jumper selector de operación, los cuales:

- Estarán habilitados, cuando el jumper se encuentre en la posición 1.
- Estarán deshabilitados, cuando el jumper se encuentre en la posición 2.

La selección de que sensores por fase van a utilizarse para la respectiva medición de los parámetros eléctricos debe realizarse antes de que el prototipo este en modo “Inicio Guardado de Datos”, con lo cual se garantizará que los datos almacenados en la memoria micro SD estén correctos.

Se debe tener en cuenta que al tener habilitados los sensores de una fase y no utilizarlos en las respectivas mediciones, los datos almacenados en la memoria micro SD correspondiente a dicha fase serán incorrectos y esto producirá análisis erróneos.

Para los sensores por fase que se encuentren deshabilitados, se guardaran valores de ceros en la memoria micro SD correspondiente a dicha fase.

A continuación, se muestra imágenes de la forma de habilitación y deshabilitación de los sensores de cada una de las fases dentro del prototipo, así como la localización de estos jumpers de selección de operación en el mismo:

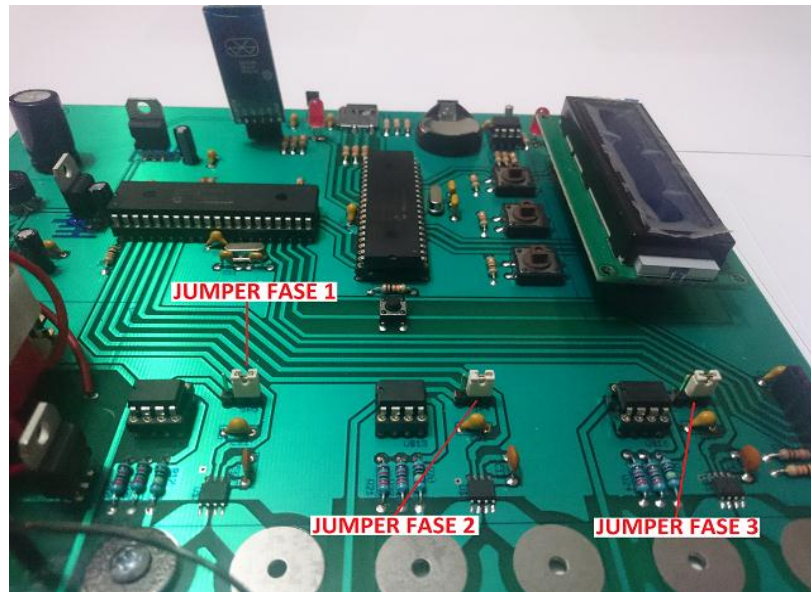


Figura 74. Localización en el prototipo de los jumpers selectores de operación para cada fase.

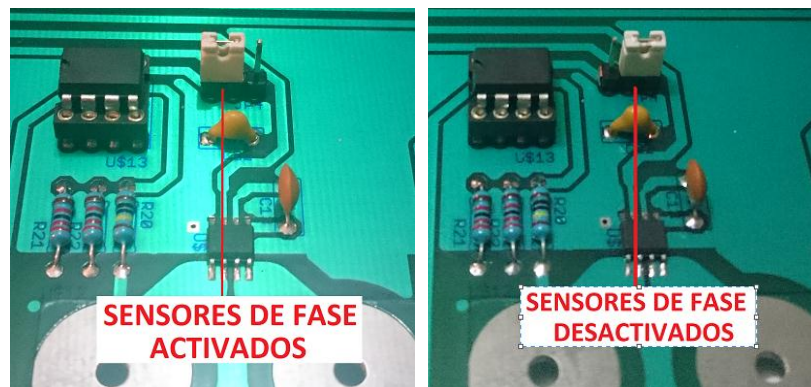


Figura 75. Modo de activación o desactivación de los sensores para cada fase.

Interface de Visualización y Control

La interface de visualización y control del prototipo la conforman el display LCD y tres pulsantes de operación.

El display LCD cumple con las funciones de mostrar en su pantalla el mensaje de:

- La hora y fecha en la que se encuentra trabajando el prototipo. Este mensaje se muestra desde el instante que se enciende el mismo hasta

el instante que se apaga. Solo se interrumpe esta información por algunos segundos al momento de señalar alguna operación que vaya a realizar el prototipo en ese instante de tiempo, para luego regresar a mostrar este mensaje.

- La operación que se ha seleccionado al presionar uno de los tres pulsantes de operación, con la finalidad de dar a conocer al usuario la operación que se ha seleccionado. Estos mensajes mostrados en la pantalla del display LCD tienen un tiempo de duración de 3 segundos desde el instante que se ha seleccionado la operación a realizar.
- Ingreso o lectura de la memoria micro SD luego de haber sido seleccionado por usuario la operación de “guardado de datos” por medio de los pulsantes de operación. El tiempo de duración del muestreo de estos mensajes en el display LCD dependerá del tiempo que requiera el usuario para insertar la memoria micro SD en el prototipo.
- Los datos de fecha y hora para ser ajustados al instante de tiempo que se desee que el prototipo trabaje. Este ajuste se realiza utilizando los tres pulsantes de operación y se los va configurando de la siguiente manera: año, mes, día, horas, minutos y segundos. El tiempo de duración del muestreo de estos datos en el display LCD dependerá del tiempo que requiera el usuario para configurar los mismos.

Los tres pulsantes de operación cumplen con el objetivo de seleccionar la operación que va a realizar el prototipo en un determinado tiempo. Una descripción detallada de las funciones que cumple cada uno de los pulsantes dentro del prototipo se presentan a continuación:

- *Pulsante Uno.*- Las funciones que cumple este pulsante son:
 - *Funcionalidad Principal.*- Esta función se encontrará habilitada desde el instante en que se enciende el prototipo. Al mantenerlo presionado durante aproximadamente dos segundos, se ingresa al modo “Inicio

Guardado de Datos” con lo que el prototipo inicia el registro de la información de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico residencial al cual se encuentra conectado el mismo.

Una vez que el prototipo se encuentra en modo de “Inicio Guardado de Datos”, este pulsante quedará deshabilitado. A continuación se muestra una imagen donde se observa en el display LCD el mensaje al realizar esta operación:

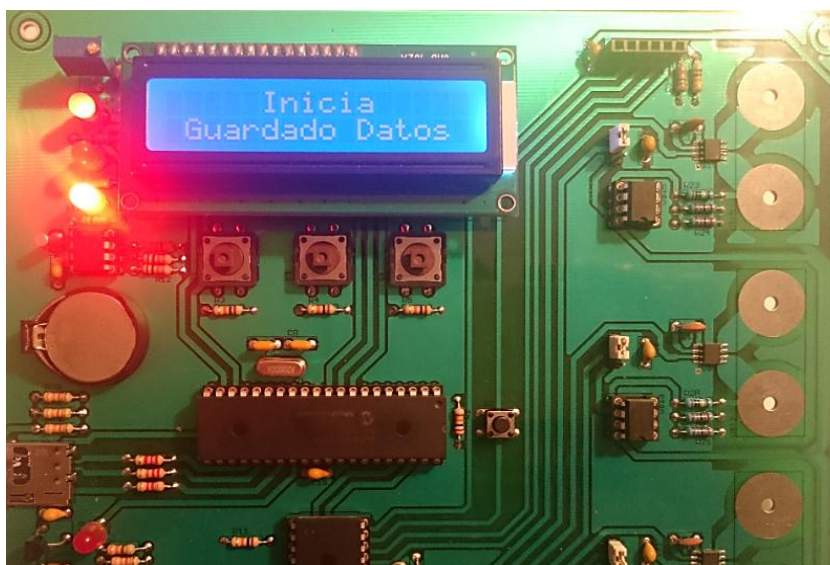


Figura 76. Mensaje en display LCD al iniciar el prototipo el guardado de datos en memoria micro SD.

- **Funcionalidad Secundaria.**- Esta función se encontrará habilitada desde el momento que el prototipo esté en modo “Inicio Ajuste de Reloj”. En este modo, este pulsante cumple con la función de incrementar el valor de los datos de fecha y hora que se esté configurando en ese instante de tiempo.

A continuación, se muestra imágenes donde se observa en el display LCD los mensajes al realizar esta operación:

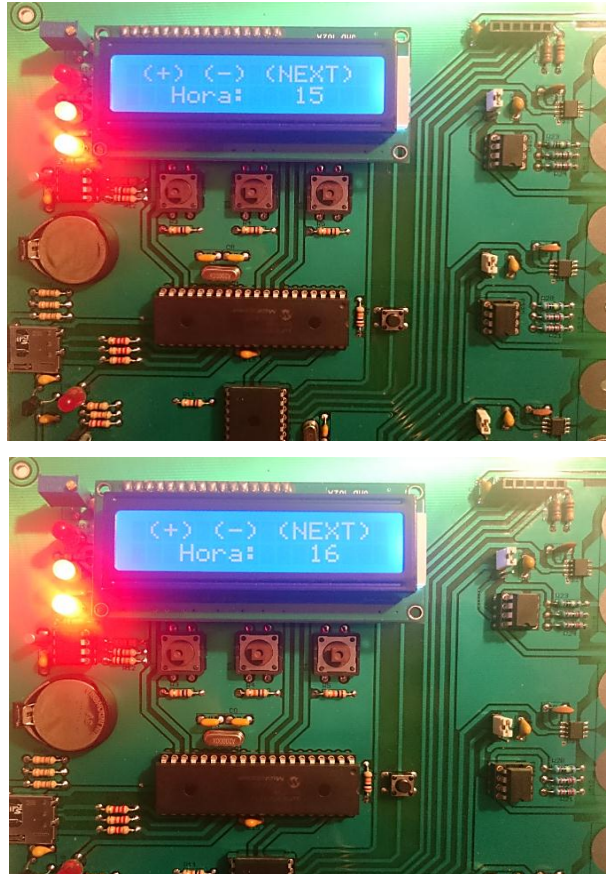


Figura 77. Dato de hora en display LCD antes y después de presionar el pulsante 1.

- *Pulsante Dos.* - Las funciones que cumple este pulsante son:
 - *Funcionalidad Principal.* - Esta función se encontrará habilitada desde el momento que el prototipo esté en modo “Inicio Guardado de Datos”. En este modo, cuando dicho pulsante se mantiene presionado durante aproximadamente dos segundos, se ingresa al modo “Finaliza Guardado de Datos”, con lo que el prototipo finaliza el registro de la información y además permite extraer la memoria micro SD de forma segura.

Una vez que el prototipo se encuentra en modo de “Finaliza Guardado de Datos” o cuando se enciende el dispositivo este pulsante se encontrará deshabilitado. A continuación, se muestra una

imagen donde se observa en el display LCD el mensaje al realizar esta operación:



Figura 78. Mensaje en display LCD al finalizar el prototipo el guardado de datos en memoria micro SD.

- **Funcionalidad Secundaria.-** Esta función se encontrará habilitada desde el momento que el prototipo esté en modo “Inicio Ajuste de Reloj”. En este modo, este pulsante cumple con la función de decrementar el valor de los datos de fecha y hora que se esté configurando en ese instante de tiempo.

A continuación, se muestra imágenes donde se observa en el display LCD los mensajes al realizar esta operación:

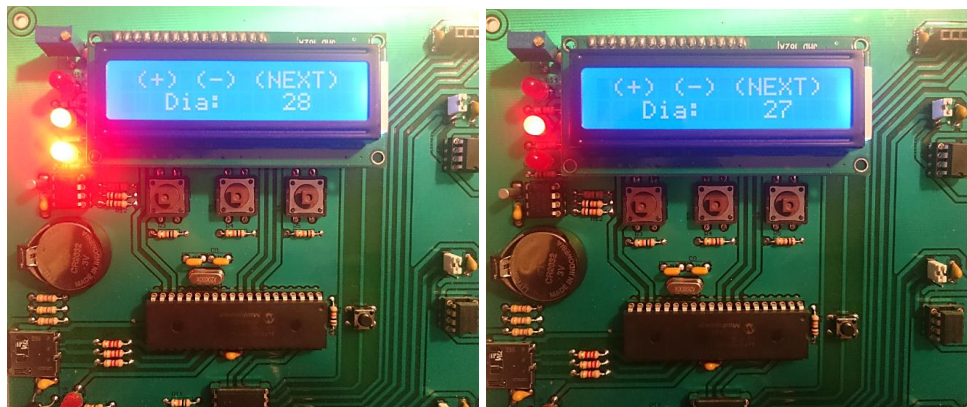


Figura 79. Dato de día en display LCD antes y después de presionar el pulsante 2.

- *Pulsante Tres.*- Las funciones que cumple este pulsante son:
 - *Funcionalidad Principal.*- Esta función se encontrará habilitada desde el instante en que se enciende el prototipo. Al mantenerlo presionado durante aproximadamente dos segundos, se ingresa al modo “Inicio Ajuste de Reloj” con lo que el prototipo inicia el ajuste de la hora y de la fecha.

Una vez que el prototipo se encuentra en modo de “Inicio Ajuste de Reloj”, este pulsante cumplirá su funcionalidad secundaria. A continuación, se muestra una imagen donde se observa en el display LCD el mensaje al realizar esta operación:

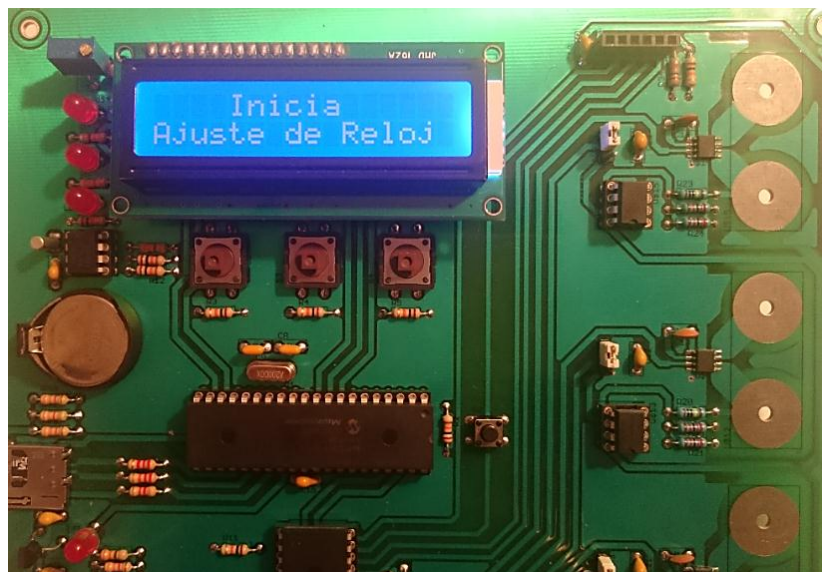


Figura 80. Mensaje en display LCD al iniciar en el prototipo el ajuste de la hora y fecha.

- *Funcionalidad Secundaria.*- Esta función se encontrará habilitada desde el momento que el prototipo esté en modo “Inicio Ajuste de Reloj”. En este modo, este pulsante cumple con la función de seleccionar secuencialmente el parámetro del reloj a tiempo real DS1307 que se desee ajustar. Los parámetros que se pueden ajustar son: Año, Mes, Día, Horas, Minutos y Segundos.

A continuación, se muestra imágenes donde se observa en el display LCD los mensajes al realizar esta operación:

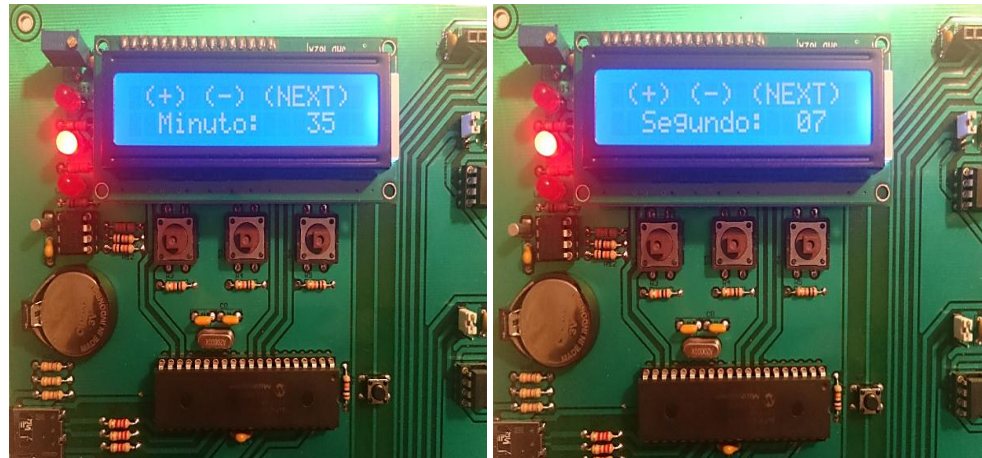


Figura 81. Dato en display LCD antes y después de presionar el pulsante 3.

Finalmente, se muestra una imagen donde se puede apreciar en el prototipo la posición de cada uno de los pulsantes descritos anteriormente:

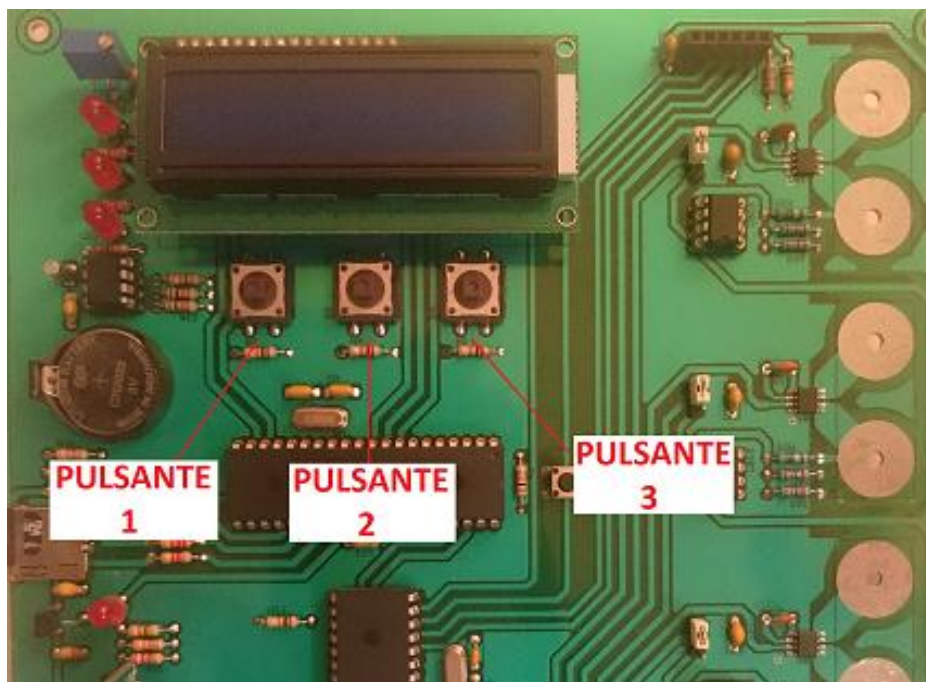


Figura 82. Ubicación de los pulsantes de operación en el prototipo.

Leds Indicadores del Prototipo

Existen en el prototipo cuatro leds indicadores que en conjunto o individualmente indican lo siguiente:

- *Led 1 Encendido y Led 2 Apagado.*- Esto indica que el prototipo se encuentra en modo de almacenamiento de datos.
- *Led 1 Apagado y Led 2 Encendido.*- Esto indica que el prototipo se encuentra en modo de ajuste del reloj.
- *Led 1 Apagado y Led 2 Apagado.*- Esto indica que el prototipo no se encuentra almacenando datos.
- *Led 3 Encendido.*- Luego de haber ingresado al modo “Inicio Guardado de Datos”, este led indica que la memoria micro SD ha sido iniciada correctamente.
- *Led 3 Apagado.*- Luego de haber ingresado al modo “Inicio Guardado de Datos”, este led indica que la memoria micro SD no se encuentra ingresada o que no se ha iniciado correctamente. Además, indica que cuando se ha finalizado el guardado de datos se puede extraer la memoria micro SD correctamente.
- *Led 4 Intermitente.*- Indica que el reloj a tiempo real DS1307 está funcionando correctamente.
- *Led 4 Encendido o Apagado.*- Indica que el reloj a tiempo real DS1307 no se está funcionando correctamente.

A continuación, se muestra una imagen donde se puede apreciar en el prototipo la posición de cada uno de los leds descritos anteriormente:

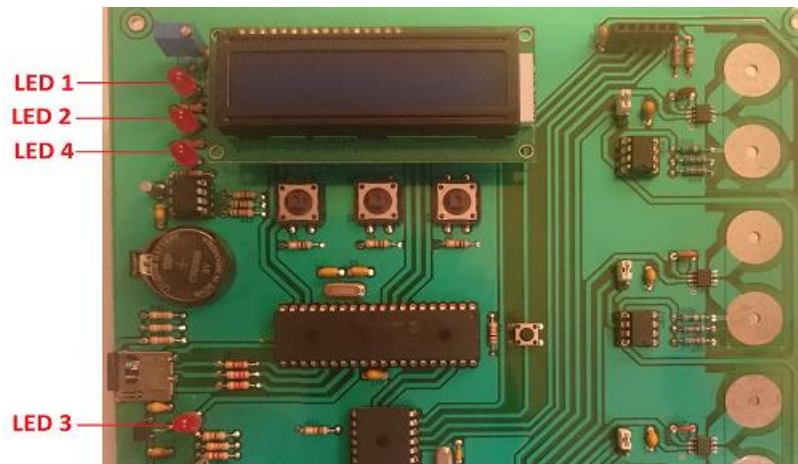


Figura 83. Ubicación de los leds indicadores de operación en el prototipo.

Ingreso y Lectura de la Memoria Micro SD en el Prototipo

La memoria micro SD debe ser ingresada en el prototipo antes de que el mismo entre en modo de “Inicio Guardado de Datos”. En este modo, si la memoria micro SD ha sido ingresada correctamente, se desplegará en el display LCD el mensaje de “microSD Ingresada” por un periodo de tiempo de 3 segundos, caso contrario se desplegará el mensaje de “Ingrese microSD” intermitentemente hasta que la memoria sea ingresada.

Luego que la memoria micro SD ha sido ingresada y leída por el prototipo, se encenderá el led 3 en el mismo, indicando que esta operación se ha realizado correctamente.

A continuación, se presenta algunas imágenes con estos tipos de mensajes:

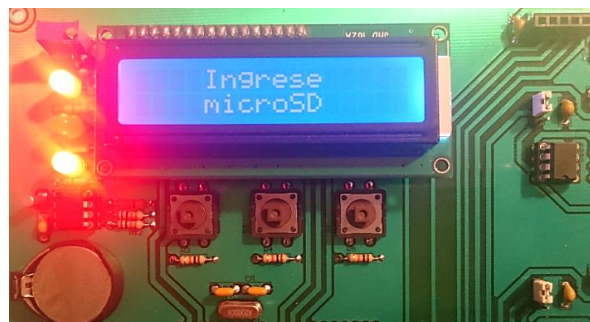


Figura 84. Mensaje en display LCD al no encontrarse ingresada en el prototipo la memoria micro SD.



Figura 85. Mensaje en display LCD al encontrarse ingresada en el prototipo la memoria micro SD.

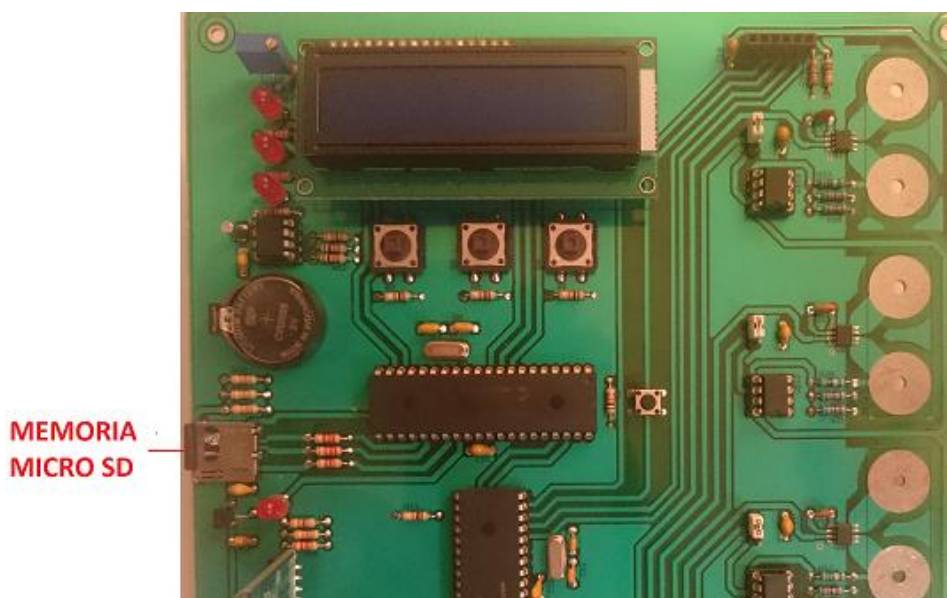


Figura 86. Ubicación de la memoria micro SD en el prototipo.

Conexión del circuito del banco de condensadores en el circuito principal

La conexión del circuito del banco de condensadores en el circuito principal se realiza con la finalidad de comandar el banco de condensadores para mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico residencial al cual se encuentre conectado el prototipo. A continuación, se muestra una imagen donde se puede apreciar la conexión de ambos circuitos:

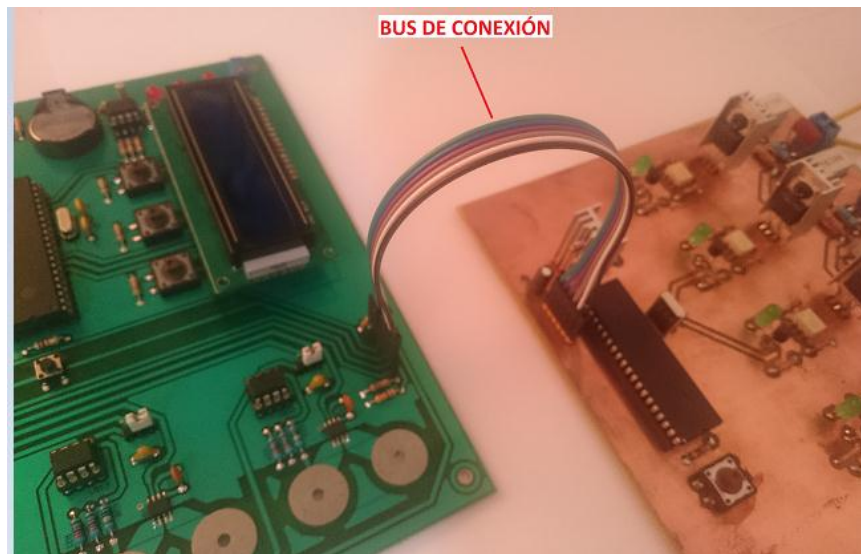


Figura 87. Conexión del circuito del banco de condensadores al circuito principal.

ANEXO 7

PLACA DEL CIRCUITO PRINCIPAL

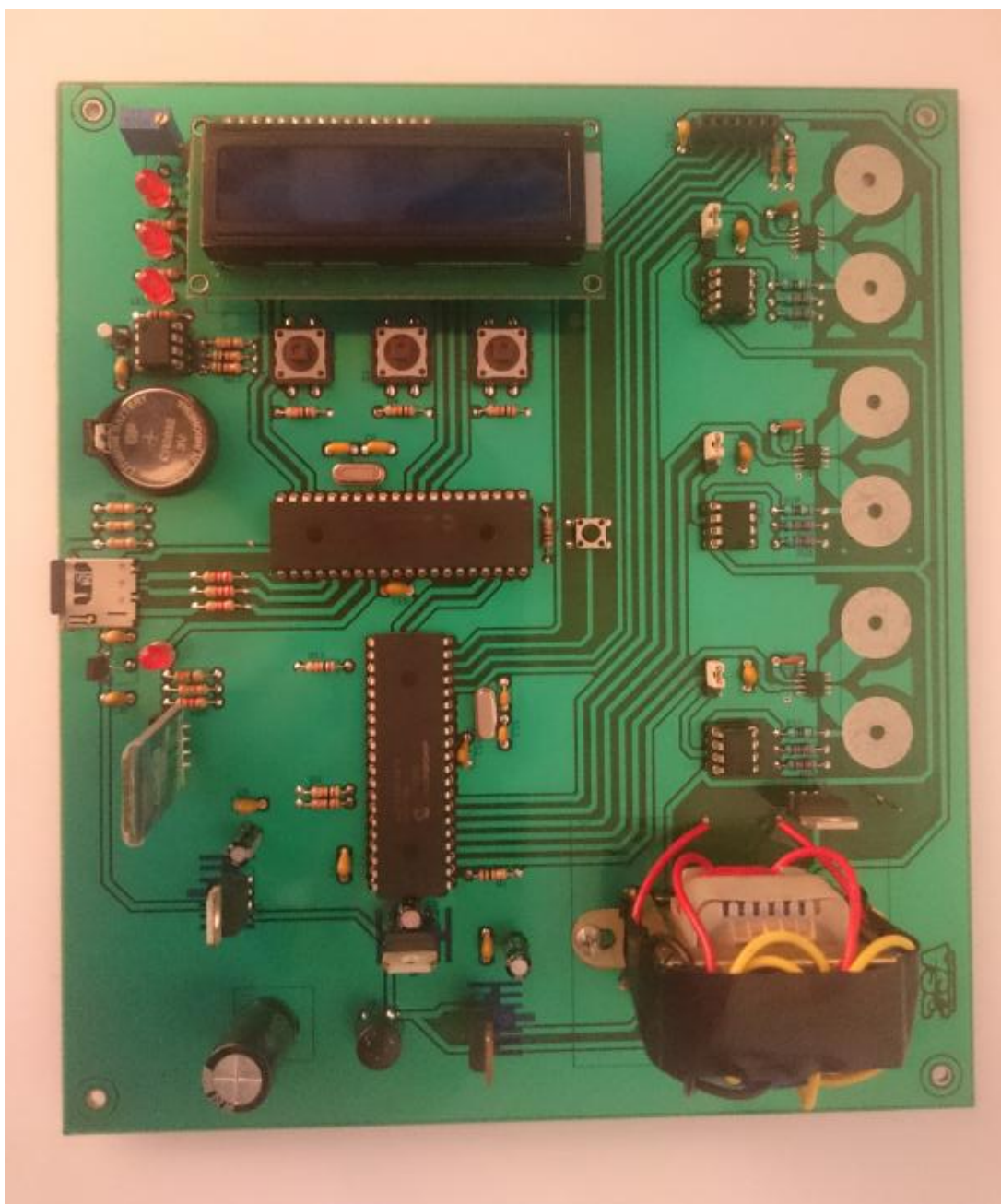


Figura 88. *Placa del circuito principal.*

ANEXO 8

PLACA DEL CIRCUITO DEL BANCO DE CONDENSADORES

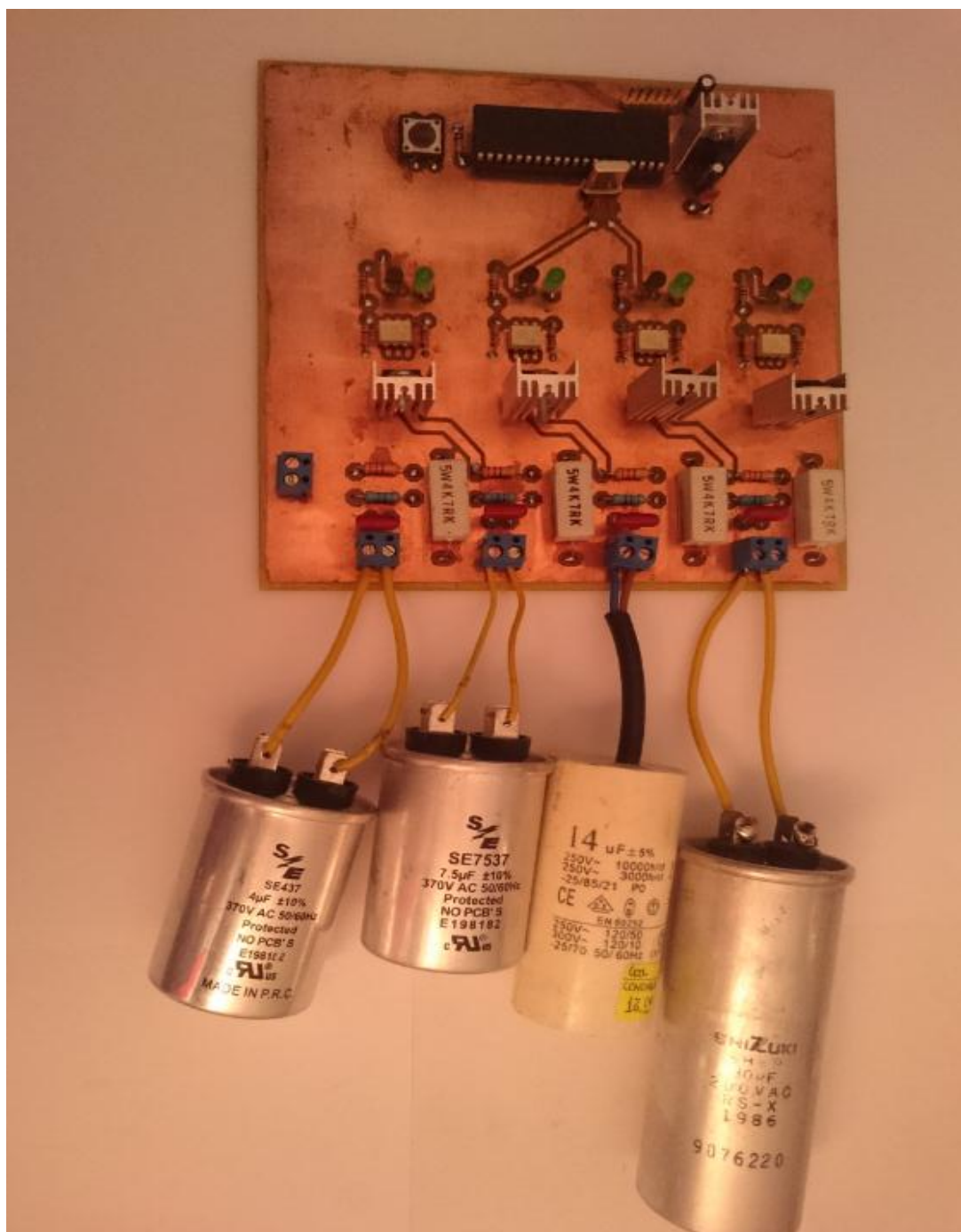


Figura 89. Placa del circuito del banco de condensadores.